

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Roman MAGUŠA

**BIOINDIKACIJA STANJA ZRAKA IN OKOLJA V
SLOVENSКИH GORICAH S POMOČJO EPIFITSKIH
LIŠAJEV PO RAZLIČNIH METODAH**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

Ljubljana, 2012

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Roman MAGUŠA

**BIOINDIKACIJA STANJA ZRAKA IN OKOLJA V SLOVENSКИH
GORICAH S POMOČJO EPIFITSKIH LIŠAJEV PO RAZLIČNIH
METODAH**

DIPLOMSKO DELO
(Univerzitetni študij)

**BIOINDICATION OF AIR QUALITY AND ENVIRONMENTAL
CONDITIONS IN SLOVENSKE GORICE WITH EPIPHYTIC
LICHENS BY DIFFERENT METHODS**

GRADUATION THESIS
(University studies)

Ljubljana, 2012

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija biologije. Opravljeno je bilo na Katedri za aplikativno botaniko, ekologijo, fiziologijo rastlin in informatiko na Oddelku za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Laboratorijsko delo je potekalo na Gozdarskem inštitutu Slovenije (GIS) in na Inštitutu rastlinske znanosti v Gradcu (Institut für Pflanzenwissenschaften, Karl-Franzens Universität Graz). Obsegalo je preučevanje in določanje lišajskih vrst. Raziskovalno delo je potekalo na območju Slovenskih Goric.

Študijska komisija je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Franca Batiča.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednica: doc. dr. Jasna DOLENC KOCE
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Član: prof. dr. Franc BATIČ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Recenzentka: prof. dr. Alenka GABERŠČIK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Datum zagovora: 10.7.2012

Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je oddana elektronska verzija identična tiskani.

Diplomska naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Roman Maguša

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn
DK 502/504:561.29(497.4 Slovenske Gorice)(043.3)=163.6
KG epifitski lišaji/bioindikatorji/onesnaženost zraka/Slovenske Gorice
KK
AV MAGUŠA, Roman
SA BATIČ, Franc (mentor)
KZ SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
LI 2012
IN BIOINDIKACIJA STANJA ZRAKA IN OKOLJA V SLOVENSKIH GORICAH S
POMOČJO EPIFITSKIH LIŠAJEV PO RAZLIČNIH METODAH
TD Diplomaska naloga (univerzitetni študij)
OP XI, 49 str., 7 pregl., 22 sl., 2 pril., 56 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Z epifitskimi lišaji smo analizirali kakovost zraka in okoljske razmere v Slovenskih Goricah. Lišaje smo analizirali na ploskvah popisa gozdov Gozdarskega inštituta Slovenije (GIS) z dvema metodama: nemško VDI in slovensko RPL, ki jo periodično uporablja GIS. Prva temelji na popisu vrst in njihovih frekvenc, druga pa na oceni relativne pokrovnosti treh rastnih tipov, v okviru standardizirane popisne mreže, ki jo pritrdimo na debla opazovanih dreves. Ekološki indeksi so pokazali večjo prisotnost nitrofilnih in toksitolerantnih vrst v bližini mest. Najslabši zrak imata upravni enoti Ptuj in Maribor. Razen nekaj izjem je v bližini mest in na manjših nadmorskih višinah zrak najslabši. Enake težnje kaže primerjava z letom 2007; v bližini mest in v nižjih legah se je stanje poslabšalo, stran od mest in v višinah pa izboljšalo.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC 502/504:561.29(497.4 Slovenske Gorice)(043.3)=163.6
CX epiphytic lichens/bioindicators/air pollution/Slovenske Gorice
CC
AU MAGUŠA, Roman
AA BATIČ, Franc (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology
PY 2012
TI BIOINDICATION OF AIR QUALITY AND ENVIRONMENTAL CONDITIONS
IN SLOVENSKE GORICE WITH EPIPHYTIC LICHENS BY DIFFERENT
METHODS
DT Graduation Thesis (University studies)
NO XI, 49 p., 7 tab., 22 fig., 2 ann., 56 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Epiphytic lichens were used for analysing air quality and environmental conditions in the Slovenske Gorice hills. Lichens were analyzed on the forest inventory plots of the Slovenian Forestry Institute (GIS) by two methods: German VDI and Slovene RPL, which is periodically in use by GIS. The first is based on lichen species inventory and their frequency. The other is based on relative cover of three growth forms of epiphytic lichens, both are carried out within the standardized inventory grid fastened on the trunks of observed trees. Ecological indices has shown the presence of nitrophytes and toksitolerant species, especially in vicinity of bigger towns. With some exceptions the air quality was found the worst in the area of Ptuj and Maribor and was also worse in the vicinity of cities and at lower altitudes. Comparison to the inventory in the year 2007 shows the same trend; the situation has worsened nearby bigger towns and at lower altitudes, but improved away from towns and at higher altitudes.

KAZALO VSEBINE

	Str.
Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VIII
Kazalo slik	IX
Kazalo prilog	XI
1 UVOD	1
1.1 Namen dela in hipoteze	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 ZAKAJ PREUČEVATI ONESNAŽENOST ZRAKA	3
2.1.1 Učinki onesnaženega zraka na zdravje ljudi	3
2.1.2 Učinki onesnaženega zraka na okolje	4
2.2 SNOVI, KI ONESNAŽUJEJO ZRAK IN NJIHOVI VIRI	5
2.3 NAČINI OCENJEVANJA ČISTOSTI ZRAKA	7
2.4 BIOINDIKACIJA Z EPIFITSKIMI LIŠAJI	8
2.4.1 Prednosti bioindikacije z epifitskimi lišaji	8
2.4.2 Slabosti bioindikacije z epifitskimi lišaji (povzeto po Kovač in sod. 2007)	8
2.5 BIOLOGIJA LIŠAJEV	9
2.5.1 Ekologija lišajev (povzeto po Poličnik 2008)	10
2.5.2 Lišajske substance (povzeto po Poličnik 2008)	11
2.6 VPLIV ONESNAŽIL NA LIŠAJE	11
2.6.1 Nitrofilne in toksitolerantne vrste	13
2.7 SPREMLJANJE KAKOVOSTI ZRAKA V SLOVENIJI	14
2.7.1 Trendi onesnaženosti v Sloveniji v zadnjem desetletju	15
2.8 OBMOČJE RAZISKAVE	16
2.8.1 Geografska omejitev in opis	16
2.8.2 Klimatološke značilnosti	17
2.8.3 Onesnaženost	17
2.8.4 Spremembe v zadnjih letih	18

3 MATERIAL IN METODE	19
3.1 NAČIN TERENKEGA DELA:	19
3.1.1 Izbira popisnih mest	19
3.1.2 Izbor dreves na popisnem mestu	20
3.1.3 Namestitev popisne mrežice	20
3.1.4 Popis lišajev	21
3.2 LABORATORIJSKO DOLOČANJE LIŠAJEV	21
3.3 IZRAČUN INDEKSOV IN ANALIZA ZBRANIH PODATKOV	21
3.3.1 Metoda VDI	21
3.3.2 Metoda relativne pokrovnosti lišajev (RPL)	22
3.3.3 Ekološki indeksi po Ellenbergu	23
3.3.4 Meritve oddaljenosti od mesta	24
4 REZULTATI	25
4.1 POPISANE LOKACIJE IN VRSTE	25
4.2 EKOLOŠKI INDEKSI	26
4.3 METODA VDI – INDEKS LGW	27
4.4 METODA RELATIVNE POKROVNOSTI (RPL) IN RAZREDI ČISTOSTI	29
4.5 PRIMERJAVA METOD	30
4.6 KAKOVOST ZRAKA V UPRAVNIH ENOTAH	31
4.7 KAKOVOST ZRAKA GLEDE NA NADMORSKO VIŠINO	33
4.8 KAKOVOST ZRAKA GLEDE NA ODDALJENOST OD MESTA	35
4.9 PRIMERJAVA S POPISOM LETA 2007	37
5 RAZPRAVA IN SKLEPI	39
5.1 POPISANE LOKACIJE IN VRSTE	39
5.2 EKOLOŠKI INDEKSI	39
5.3 METODA VDI – INDEKS LGW	40
5.4 METODA RPL IN RAZREDI ČISTOSTI ZRAKA	40
5.5 PRIMERJAVA METOD	40
5.6 KAKOVOST ZRAKA V UPRAVNIH ENOTAH	41
5.7 KAKOVOST ZRAKA GLEDE NA NADMORSKO VIŠINO	41

5.8 KAKOVOST ZRAKA GLEDE NA ODDALJENOST OD MESTA _____	41
5.9 PRIMERJAVA S POPISOM LETA 2007 _____	42
6 POVZETEK _____	43
7 VIRI _____	45

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Seznam popisnih ploskev (KPP) z najbližjim naseljem in občino.....	19
Preglednica 2: Določanje RPL-razredov čistosti zraka glede na mediane pokrovnosti treh rastnih tipov lišajev (povzeto po Batič in sod. 2011).	23
Preglednica 3: Ekološki indeksi po Ellenbergu in sod. (1992); simboli in razpon lestvic s poenostavljeno razlago.	23
Preglednica 4: Popisane vrste, rastni tip (S=skorjasti, L=listasti) in število popisnih ploskev, na katerih je bila vrsta najdena.	25
Preglednica 5: Vrednosti nekaterih ekoloških indeksov na popisnem območju. N= indeks nitrofilnosti, razpon od 1(hranilno revno) do 9 (tolerantno na gnojenje). R= indeks kislosti podlage, razpon od 1 (kislo) do 9 (bazično). To= indeks toksitolerantnosti, razpon od 1 (majhna) do 9 (velika). Dodatna razlaga je v Preglednici 3.	26
Preglednica 6: Povprečna relativna pokrovnost lišajev (RPL) v upravni enoti – drevesna skupina bukev. S – skorjasti lišaji, L – listasti lišaji.....	32
Preglednica 7: Povprečne vrednosti različnih ekoloških indeksov po Ellenbergu in sod. (1992) v upravni enoti. Razlaga simbolov in vrednosti je v Preglednici 3.	33

KAZALO SLIK

Slika 1: Skupne emisije žveplovega dioksida (SO ₂), dušikovih oksidov (NO _x), lahkihplapnih nemetanskih ogljikovodikov (NMVOC) in trdnih delcev PM ₁₀ v letu 2006 po upravnih enotah (VIR: Planinšek 2010: Tabela 1).	17
Slika 2: Popisna mrežica na eni izmed popisanih bukev.	20
Slika 3: Ekološki indeksi po Ellenbergu (1992) glede na oddaljenost od mesta. To= indeks toksitolerantnosti, porazdeljene podatke povzema modra trendna črta. N= indeks nitrofilnosti, porazdeljene podatke povzema rdeča trendna črta. R= indeks kislosti podlage, porazdeljene podatke povzema zelena trendna črta.	27
Slika 4: Vrednosti indeksa LGW na popisanih ploskvah - drevesna skupina bukev. Prikazane so srednje vrednosti in standardna deviacija.	27
Slika 5: Vrednosti indeksa LGW na popisanih ploskvah - drevesna skupina hrasti. Prikazane so srednje vrednosti in standardna deviacija.	28
Slika 6: RPL-razredi čistosti zraka na popisnih ploskvah – drevesna skupina bukev.	29
Slika 7: RPL-razredi čistosti zraka na popisnih ploskvah – drevesna skupina hrasti.	29
Slika 8: Primerjava razredov čistosti zraka po metodi VDI (LGW-razred) in po Batiču in sod. (RPL-razred) – drevesna skupina bukev.	30
Slika 9: Primerjava razredov čistosti zraka po metodi VDI (LGW-razred) in po Batiču in sod. (RPL-razred) – drevesna skupina hrasti.	30
Slika 10: Povprečno zabeleženo število taksonov na popisno ploskev v posamezni upravni enoti.	31
Slika 11: Povprečni LGW-indeks popisnih ploskev v upravni enoti – drevesna skupina bukev.	31
Slika 12: Povprečni LGW-indeks popisnih ploskev v upravni enoti – drevesna skupina hrasti.	32
Slika 13: Odvisnost LGW-indeksa od nadmorske višine – drevesna skupina bukev. Zelena krivulja povezuje vrednosti na ploskvah, modra črta pa prikazuje trend glede na nadmorsko višino.	33
Slika 14: Odvisnost LGW-indeksa od nadmorske višine – drevesna skupina hrasti. Rumena krivulja povezuje vrednosti na ploskvah, modra črta pa prikazuje trend glede na nadmorsko višino.	34
Slika 15: Odvisnost RPL-razreda čistosti zraka od nadmorske višine – drevesna skupina bukev. Zelena krivulja povezuje vrednosti na ploskvah, modra črta pa prikazuje trend glede na nadmorsko višino.	34
Slika 16: Odvisnost RPL-razreda čistosti zraka od nadmorske višine – drevesna skupina hrasti. Rumena krivulja povezuje vrednosti na ploskvah, modra črta pa prikazuje trend glede na nadmorsko višino.	35

Slika 17: Odvisnost LGW-indeksa in LGW-razreda od bližine mesta – drevesna skupina bukev. Ravna črta prikazuje trend indeksa.	35
Slika 18: Odvisnost LGW-indeksa in LGW-razreda od bližine mesta – drevesna skupina hrasti. Ravna črta prikazuje trend indeksa.	36
Slika 19: Odvisnost RPL-razreda čistosti zraka od bližine mesta – drevesna skupina bukev. Ravna trendna črta prikazuje boljšo čistost zraka na bolj oddaljenih ploskvah.	36
Slika 20: Odvisnost RPL-razreda čistosti zraka od bližine mesta – drevesna skupina hrasti. Ravna trendna črta prikazuje boljšo čistost zraka na bolj oddaljenih ploskvah.	37
Slika 21: Sprememba razreda RPL glede na nadmorsko višino med letoma 2007 in 2010. Ravni trendni črti kažeta izboljšanje (rumena – drevesna skupna hrasti) in poslabšanje (zelena – drevesna skupina bukev) z nadmorsko višino.	38
Slika 22: Sprememba razreda RPL glede na bližino mesta med letoma 2007 in 2010.	38

KAZALO PRILOG

Priloga A: Obrazec za popis relativne pokrovnosti rastnih tipov epifitskih lišajev

Priloga B: Obrazec za popis lišajskih vrst

1 UVOD

Onesnaževanje okolja je v zadnjih desetletjih tema številnih razprav strokovnih in političnih krogov. Ugotovitve, da številni antropogeni dejavniki vplivajo na kakovost in dolžino življenja na našem planetu, so razlog za mnoge raziskave in ukrepe zmanjšanja škodljivih emisij.

Onesnaženo ozračje je potencialno najnevarnejši kratko- in srednjeročni problem za človekovo zdravje, saj se mu je težje izogniti kot na primer onesnaženi vodi. Negativni učinki uničujejo človekovo zdravje, zgradbe in naravo.

Najslabši zrak je v velikih mestih, zaradi koncentracije industrije, ogrevalnih obratov in prometa. Izpostavljenost onesnažilom se od mesta do mesta razlikuje glede na številne dejavnike, kot so na primer geografske in vremenske razmere (Ministrska konferenca... 1994), veter pa jih lahko prenaša tudi na velike razdalje. Občasno izjemno močno onesnaženje je po ugotovitvah Ministrske konference »Okolje za Evropo« (1994) lahko mnogo bolj škodljivo kot vzdrževanje nekega povprečnega nivoja preko celega leta. Po njihovih navedbah je smog v Londonu leta 1952 sedanje standarde Evropske skupnosti za kvaliteto zunanjega zraka presegal za več kot desetkrat in terjal življenja več kot 4000 ljudi.

Pogoj za smiselno ukrepanje so ustrezne raziskave, s katerimi opredelimo količino, vire, časovni potek in učinke onesnaženja. To lahko storimo s pomočjo inštrumentov za kemijske in fizikalne meritve delcev in plinov v zraku ter letnega poteka vremena na nekem območju.

Enostavnejša in cenejša možnost je monitoring bioindikatorjev; organizmov, ki s svojim videzom, uspevanjem in rastjo odražajo delovanje posameznega zračnega onesnažila (Veltruski 2006, cit. po Batič in Kralj 1995). Za ta namen so zelo uporabni epifitski lišaji. Razvitih je bilo več metod, prilagojenih lišajski flori posameznih podnebnih območij. V zadnjem času se razvijajo metode za poenoteno vrednotenje kvalitete zraka med državami na območju Evrope.

Neposredna primerjava dveh znanih metod v pričujočem delu je pokazala, da med njima brez dvoma obstajajo določene razlike, ki jih moramo upoštevati pri interpretaciji rezultatov.

1.1 NAMEN DELA IN HIPOTEZE

Osrednji namen naloge je bil ugotoviti sestavo lišajske flore in kakovost zraka na območju Slovenskih Goric ter oboje primerjati z drugimi dostopnimi podatki. Proučeno gričevje je zaradi kmetijske rabe tal obremenjeno z dušikovimi spojinami in fitofarmaceutskimi sredstvi, zanemariti pa ne smemo tudi vpliva prometa in daljinskega vnosa zračnih onesnažil iz industrijskih in termoenergetskih objektov.

Zaradi intenzivne rabe krajine smo pričakovali fragmentiranost in mlajše gozdne sestoje, ki vplivajo na razporeditev popisnih mest. Zaradi onesnaževanja smo predvidevali večje število nitrofilnih in toksitolerantnih vrst ter slabše stanje v bližini mest in nižjih legah.

2 PREGLED OBJAV

2.1 ZAKAJ PREUČEVATI ONESNAŽENOST ZRAKA

Onesnaženje povzročamo ljudje sami s svojimi aktivnostmi in načinom življenja (industrijski procesi, promet, ogrevanje, pridelava hrane...), zato je koncentracija onesnažil običajno največja tam, kjer živi največ ljudi. Vzrok naravnega onesnaženja zraka so večji vulkanski izbruhi in požari, v manjši meri tudi razkroj rastlin in živali, cvetni prah, stratosferski ozon idr. Onesnažila v zraku škodljivo vplivajo na zdravje ljudi in ekosistema ter obstojnost nekaterih materialov (Bizjak 2009).

2.1.1 Učinki onesnaženega zraka na zdravje ljudi

Zračna onesnaževala lahko dražijo oči, nos in grlo ter povzročijo astmatske napade. Pri kronično izpostavljenih osebah lahko povzročijo ali poslabšajo obstoječe bolezni dihal na primer kronični bronhitis, pljučni emfizem, pljučni rak in bronhialno astmo. Podobno lahko vplivajo na bolezni srca in ožilja, delujejo nevrotoksično in kancerogeno (Bizjak 2009).

Žveplov dioksid (SO_2) je topen v vodi, zato se pri dihanju odstranjuje v zgornjem delu dihalne poti, kjer povzroča zoženje dihalnih kanalov, zmanjšanje pretoka sluzi in nastanek bronhitisa. **Ogljikov monoksid** (CO) se z veliko afiniteto veže na hemoglobin v krvi, s čimer prepreči vezavo za telo nujno potrebnega kisika (Bizjak 2009). **Trdni delci**, večji od $10 \mu\text{m}$, se zaradi inercialnih trkov deponirajo v nosu, sinusih in grlu, manjši od $10 \mu\text{m}$ pa prodirajo globlje (Colls 2002), neposredno dražijo dihala (Bizjak 2009) in vplivajo na nezadosten razvoj pljuč pri otrocih. Na njih so lahko adsorbirane nevarne snovi npr. nevarne oz. težke kovine (Otošec 2011). Nekatere **kovine** so za človeka življenjsko pomembne, druge pa so že v majhnih količinah zdravju škodljive. Mednje sodijo težke kovine svinec, kadmij živo srebro in nikelj ter polkovina arzen. Te se v telesu nabirajo, ker njihov vnos v telo poteka hitreje kot razgradnja in izločanje iz telesa. **Lahkohlapni ogljikovodiki** (npr. benzen) so neposredno strupeni, dražijo dihala in so lahko kancerogeni. Iz njih s pomočjo fotokemičnih reakcij nastaja ozon (Bolte 2008). **Dušikov monoksid** (NO) pri običajnih količinah ni škodljiv, vendar se hitro oksidira v toksični dušikov dioksid (NO_2), ki zaradi slabe vodotopnosti vdira globoko v pljuča in poškoduje številna tkiva. Globoko prodira tudi **ozon** (O_3), ki zaradi oksidacijskih lastnosti poškoduje membrane celic respiratornega epitela (Colls 2002) in zaradi dražilnega delovanja poslabša že obstoječe pljučne bolezni (Bizjak 2009). Kronična izpostavljenost je najbrž povezana z ireverzibilnimi spremembami pljučnega tkiva (Colls 2002). Precej škode zdravju ljudi povzroča tudi **amonijak**. V velikih koncentracijah neposredno škoduje zdravju in dobremu

počutju. Kot aerosol se v obliki drobnih prašnih delcev prenaša na velike razdalje in povzroča boleznih dihal (Verbič 2009).

2.1.2 Učinki onesnaženega zraka na okolje

Ozon (O_3) povzroča kloroze in nekroze na listih in iglicah (Bizjak 2009) ter zgodnje staranje in odmiranje rastlin. Posledica poškodb je zmanjšan prirastek, manjša skupna biomasa rastlin, kar se odraža kot zmanjšanje pridelka kmetijskih kultur (Batič in sod. 2009). Poleg tega povzroča poškodbe na plastiki in gumi (Česen 2009).

Vodikov fluorid (HF) kot plin vstopa skozi listne reže, raztopljen v vodi kot fluorovodikova kislina pa tudi skozi korenine. Po žilah potuje proti robovom in k vršičkom, kjer se akumulira in povzroča nekroze (Bizjak 2009).

Žveplov dioksid (SO_2) je plin, ki vstopa v rastlino skozi listne reže in prizadene gobasto tkivo predvsem mlajših listov (Bizjak 2009). Zaradi svojih lastnosti povzroča nastajanja kisle usedline v vodi ali tleh, kar se negativno odraža na vodnih ekosistemih, gozdovih, poljščinah in drugi vegetaciji. Možne so tudi poškodbe na zgradbah in kulturnih spomenikih (Šegula 2009).

Amonijak (NH_3) je neposredno toksičen za rastline, ker izsušuje tkiva (Colls 2002). Z njim v ozračje izgublamo dušik - dragoceno rastlinsko hranilo, ki se nato odlaga v naravne ekosisteme in jih spreminja. Prispeva tudi h kislemu dežju in zakisovanju tal (Verbič 2009).

Dušikov dioksid (NO_2) povzroča nepravilne rjave ali bele lezije med rebri in na listnem robu (Colls 2002). Izpusti **SO_x, NO_x in NH₃** v atmosfero po naknadnih reakcijah povzročajo zakisovanje prsti in vode ter škodo na stavbah in materialih (korozija). Dušikove spojine se odlagajo in prekomerno kopičijo v zemlji ter povzročajo evtrofikacijo vodnih teles (Česen 2009).

Kisli dež je mešanica H_2SO_4 in HNO_3 (Piervittori in sod. 1997). Ena izmed posledic kislih padavin so nekroze delov rastlin, kjer zaradi presežene sposobnosti njihove presnove propadejo tkiva. Na ekosistemski ravni kisle padavine izlužujejo esencialne snovi (kalij, magnezij, kalcij,..), kar vodi do neravnotežja hranil, ovira mikrobiološke procese v prsti in zmanjšuje odpornost rastlin na naravne stresne situacije (Bizjak 2009).

Delci in plinasta onesnažila lahko poškodujejo razne materiale (kovino, gradbene materiale, barve, gumo) z usedanjem in vetrno abrazijo, kemijsko pa z neposrednim

stikom, pri katerem se plin absorbira in pretvori v agresivno spojino (Bizjak 2009). Velika količina delcev v zraku zmanjša vidljivost z lomljenjem in absorpcijo svetlobe (Colls 2002).

Pri škropljenju s **sredstvi za varstvo rastlin** se določen delež z vetrom zanese v bližnjo okolico, kjer lahko povzroča toksične učinke na flori in favni.

Glede na omenjene učinke je spremljanje onesnaženosti zraka še kako pomembno, saj onesnaženost neposredno vpliva na zdravje ljudi in kvaliteto življenja. Negativen vpliv ima tudi na zdravje ekosistemov in na donosnost kmetijske pridelave, zato so tovrstne raziskave tudi ekonomsko upravičene. Prav tako ni zanemarljiv ekonomski učinek na državno zdravstveno blagajno.

2.2 SNOVI, KI ONESNAŽUJEJO ZRAK IN NJIHOVI VIRI

Glede na zgodovinsko pomembnost, koncentracije v zraku ter splošni učinek na okolje so zelo pomembne tri skupine plinskih onesnažil; SO_2 , NO_x in O_3 . SO_2 in dušikov monoksid (NO) sta primarna polutanta (izhajata neposredno iz virov), NO_2 nastaja tudi sekundarno, antropogeni O_3 pa zgolj sekundarno iz predhodnih spojin (Colls 2002).

Glavni viri izpustov **žveplovega dioksida** (SO_2) so velike toplarne in termoelektrarne, v naseljenih predelih tudi individualne peči na premog. SO_2 nastaja pri nekaterih industrijskih procesih (npr. tovarne celuloze, pridobivanje kovin) ter pri izgorevanju drugih goriv, ki vsebujejo žveplo (Šegula 2009) npr. plina (Bolte 2008). Svoj delež dodajo tudi prometna sredstva (Plevnik 2008).

Dušikovi oksidi (NO_x) pridejo v ozračje večinoma iz prometa in velikih termoenergetskih objektov, ki za gorivo uporabljajo premog. Med dušikovimi oksidi v izpuhu prometnih vozil z 80 do 90 odstotki prevladuje dušikov monoksid (Bolte 2008), vendar na zraku s pomočjo ozona hitro oksidira v dušikov dioksid (Colls 2002).

Lahkohlapne organske spojine (VOC) se sproščajo pri industrijski pripravi barvil, lakov, topil ter pri predelavi nafte in plinov (Bizjak 2009).

V obliki delcev in pare se sproščajo **nevarne kovine**. Viri emisij so naravni in antropogeni. Največji antropogeni viri onesnaženja zraka so: energetski objekti v širšem pomenu, industrija, promet, pridobivanje in predelava rud.

Atmosferski delci oziroma aerosoli so drobni trdni in tekoči delci. Predstavljajo kompleksno mešanico organskih in anorganskih komponent. Primarni delci so posledica neposrednih izpustov iz prometa, industrije in kurilnih naprav, sekundarni pa so posledica procesov v onesnaženi atmosferi (Bolte 2008). Vzrok povečane količine delcev v zraku so enkrat letno tudi ognjemeti, ki se prižigajo ob prehodu iz starega v novo leto (Bolte 2011b).

Kmetijstvo prispeva veliko večino izpustov **amonijaka**. Največ se ga sprosti pri gnojenju s hlevskim gnojem, gnojevko in mineralnimi gnojili, nekaj pa neposredno iz hlevov in skladiščenih gnojil (Verbič 2009). Nekaj amonijaka prispeva tudi promet (Plevnik 2008).

Na kmetijskih površinah je relativno velika poraba **sredstev za varstvo rastlin**, imenovanih tudi fitofarmacevtska sredstva, ki so pri današnjem načinu pridelave hrane neobhodno potrebna za zdrav pridelek. Za Slovenijo so značilni trajni nasadi (sadovnjaki, vinogradi, hmeljišča), na katerih je poraba fitofarmacevtskih sredstev (predvsem fungicidov) na hektar precej večja kot pri žitih in drugih poljščinah (Simončič 2011). Izpostavljenost v bližini tovrstnih kultur ni zgolj enkratna, ampak ponavljajoča.

Tudi **ogljikov monoksid** (CO) nastaja pri emisijah iz prometa (Plevnik 2008), poleg tega tudi pri nepopolnem izgorevanju fosilnih goriv, v energetiki in še kje (Bizjak 2009).

Troposferski ozon je sekundarni polutant, ki nastaja s fotokemičnimi reakcijami iz t.i. predhodnikov ozona. Največ le teh prispevajo promet (NO_x, CO, CH₄, nemetanske organske spojine) in lahkohlapne organske snovi, ki prihajajo iz industrije, gospodinjstev, bencinskih črpalk, kemičnih čistilnic itd. Reakcije so intenzivnejše pri višji temperaturi in močnejšem sončnem sevanju. Ob cestah ozon nima takšnega vpliva, ker hitro reagira z dušikovim monoksidom in razpade v kisik (Bolte 2008).

Povzročitelji **kislega dežja** so SO₂, NO_x, CO in ogljikovodiki, ki v obliki disociiranih kislin povzročajo njegovo kislost. H kislosti deloma prispevajo tudi specifična onesnažila (fluoridi, fosfati, organske kisline), ki se v zraku pojavljajo v manjšem obsegu. Glavna povzročitelja kislosti padavin SO₂ in NO_x se v obliki plina ali aerosolov prenašata na velike razdalje, zato padavine vsaj deloma odražajo tudi globalno onesnaženost zraka (Bolte 2008).

Največji onesnaževalci zraka so torej velika naselja, ki vključujejo industrijo, promet, ogrevanje in predstavljajo centre onesnaženja. Vsak izmed dejavnikov ima znaten vpliv

tudi izven velikih naselij, saj bistveno poslabša kvaliteto bivanja v okolici. Dobršen delež prispeva tudi kmetijstvo.

2.3 NAČINI OCENJEVANJA ČISTOSTI ZRAKA

Enotna zakonodaja, ki velja v državah članicah Evropske skupnosti, predpisuje mejne koncentracije onesnažil, ki ogrožajo zdravlje ljudi in ravnotežje naravnih ekosistemov. Dolžnost držav članic je merjenje onesnažil po metodah in kakovostnih standardih, ki so prav tako predpisani. O kakovosti zraka morajo sproti obveščati domačo javnost in poročati Evropski okoljski agenciji EEA (Bolte 2011a).

Onesnažila, o katerih smo govorili do sedaj, je mogoče meriti z napravami, ki izkoriščajo fizikalne in kemijske procese. Večina meritev se izvaja periodično celo leto na stalnih mestih, ki so največkrat v bližini velikih mest ali drugih velikih onesnaževalcev. Del meritev se opravi tudi z mobilno merilno postajo na različnih lokacijah (Bolte 2011a). V Sloveniji meritve izvaja in vodi Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). S podatki, ki jih pridobimo pri večletnem spremljanju, in ob upoštevanju meteoroloških dejavnikov lahko z določeno verjetnostjo napovemo količino in smer gibanja onesnažil, s tem pa tudi morebitne učinke na okolje. S kemijskimi meritvami lahko ugotovimo trenutno stanje, s periodičnimi meritvami pa dnevni in letni potek koncentracije onesnažil. Pri interpretaciji rezultatov moramo upoštevati, da trenutne vrednosti ne odražajo celoletnega dogajanja kaj šele učinka na okolico.

Z meritvami pa še ne dobimo vpogleda v dejanski učinek, ki ga ima onesnaženje na ljudi in ekosisteme, še manj so sposobne dati podatke o integralnih vplivih onesnažil in abiotskih dejavnikov na časovni in prostorski skali (Bolte 2011a, Batič 2002). V ta namen je potrebno vključiti medicinske raziskave, s katerimi potrdimo ali ovržemo vpliv določenega dejavnika na zdravje človeka. Vpliv na naravo lahko preverimo z obsežnimi monitoringi flore in favne nekega območja ali preprosteje in hitreje s pomočjo bioindikatorjev. Znani bioindikatorji za ocenjevanje čistosti zraka so epifitski lišaji. Pri metodah, ki vključujejo lišaje (ali druge bioindikatorje) je dovolj enkratni pregled, da ovrednotimo stanje in učinke zadnjih nekaj let.

2.4 BIOINDIKACIJA Z EPIFITSKIMI LIŠAJI

Lišaji so med največkrat uporabljenimi bioindikatorji, ker so zelo občutljivi na onesnažen zrak. Na njih vpliva tudi kisel dež, v steljki se akumulirajo kovine in druge kemikalije.

2.4.1 Prednosti bioindikacije z epifitskimi lišaji

- Zaradi svoje nemobilnosti odražajo stanje na konkretni lokaciji.
- Razširjeni so po vsem svetu, v številnih ekstremnih okoljih (od zelo suhih do zelo vlažnih, zelo mrzlih do zelo vročih), na različnih naravnih in nenaravnih podlagah (Poličnik 2008).
- So posebej prilagojeni za zbiranje vode in hranil iz zraka, v primeru onesnaženega zraka tudi zračnih onesnažil (Batič in Kastelec 2009).
- Občutljivi so na širok spekter zračnih onesnažil (Ahmadjian 1993).
- Ker nimajo razvite prave povrhnjice, brez regulacije absorbirajo hranila in onesnažila preko zunanje površine.
- Lišaj je simbioza glive in alge ali cianobakterije. Poškodovanost enega izmed simbiotskih partnerjev pomeni porušenje občutljivega medsebojnega razmerja in posledično propad lišaja.
- So dolgoživi organizmi.
- Mnoge vrste lahko akumulirajo velike količine kovin brez vidnih poškodb, kar omogoča monitoring na velikih območjih (Poličnik 2008). Razen kovin akumulirajo tudi hranila, elemente v sledovih in številna onesnažila, tudi radioaktivna (Jeran in sod. 1995).
- Razvitih je mnogo metod, enostavnejše so primerne za začetnike, kompleksnejše za strokovnjake (Poličnik 2008, Batič 1984).
- Nizka cena; za spremljanje učinkov onesnaženja z lišaji niso potrebne naprave, ki so običajno drage, potrebujejo vir energije in so izpostavljene morebitni kraji in vandalizmu (Poličnik 2008, Kovač in sod. 2007).

2.4.2 Slabosti bioindikacije z epifitskimi lišaji (povzeto po Kovač in sod. 2007)

- Težavna standardizacija izvedbe in ponovitve poskusov.
- Težavnost merjenja in ugotavljanja odziva pri laboratorijskem gojenju lišajev zaradi počasne rasti.
- Težave pri zagotavljanju ponovljivosti in kvantifikacije odziva pri aktivni bioindikaciji z lišaji, kjer bi bilo potrebno v laboratoriju vzgojiti lišaje v nadzorovanih razmerah in jih potem izpostaviti v okolje, kar je praktično neizvedljivo zaradi težav z gojitvijo teh organizmov in počasne rasti. Aktivno bioindikacijo lahko izvajamo tako, da lišaje

naberemo skupaj s podlago in jih v časovno omejenih obdobjih izpostavljamo onesnaženju.

- Pomen odziva lišajev kot bioindikatorjev na ekosistemski ravni ni vedno lahko povezati z odzivom celega sistema in pomenom za človeka, kar lahko omejuje ekonomsko upravičenost njihove uporabe.

2.5 BIOLOGIJA LIŠAJEV

Lišaji so simbiotski organizmi, zgrajeni iz glivnega partnerja (mikobiont) in enega ali več fotosintetskih partnerjev (fotobiont), ki je lahko zelena alga (*Chlorophyceae*) ali cianobakterija (*Cyanobacteriae*) (Poličnik 2008). Mikobionti so večinoma glive iz skupine zaprtotrošnic (*Ascomycetes*) (Poikolainen 2004). Mikobiont, ki je heterotrofen in v steljki ponavadi prevladuje, dobi od fotobionta potrebne organske snovi, ščiti fotobionta pred izsuševanjem in preveliko intenziteto svetlobe (Poličnik 2008) ter skrbi za dovajanje mineralov (Poikolainen 2004). Če so v asociaciji kot fotobiont cianobakterije, dobiva mikobiont od njih tudi dušik (Poličnik 2008). Lihenizirane glive so zelo specifične pri izbiri fotobionta (Honegger 1998), kar kaže na tesno fiziološko povezanost obeh partnerjev. Rezultat tesne fiziološke povezave je tudi pojav velikega števila različnih sekundarnih metabolitov, ki jih praviloma ne najdemo pri prostoživečih glivah ali drugih organizmih (Poličnik 2008).

Glede na rastno obliko ločimo 3 glavne tipe lišajev: skorjaste, listaste in grmičaste (Poličnik 2008):

Skorjasti lišaji

Skorjasti lišaji so s svojo spodnjo površino tesno prirasli na podlago in jih ne moremo ločiti od nje brez poškodb. Ločimo več podtipov skorjastih lišajev. Najmanj kompleksno strukturo steljke imajo leprozni skorjasti lišaji, ki so najpreprostejši in nimajo organizirane steljke. Plasti gliv in alg pri tem tipu niso razvite, ampak glivne hife preprosto obdajajo skupke celic alg. Steljka ima prahast izgled (ang.: leprose). Najbolj kompleksni med skorjastimi lišaji so luskasti (ang.: squamulose) skorjasti lišaji, pri katerih so že nakazane krpe listaste steljke in so mestoma že ločeni od podlage.

Listasti lišaji

Listasti lišaji so podobni listom, ploski in pritrjeni na podlago s pričvrščevalnimi strukturami; rizinami, popkom ali deli spodnje povrhnjice. Organizacija steljke je tipično dorziventralna z ločeno zgornjo in spodnjo povrhnjico. Steljka je pogosto razdeljena v krpe

(lobule), ki so različno razrasle in oblikovane. V skupini listastih lišajev so značilne velike razlike v velikosti in velika vrstna pestrost. Tipična steljka je na robu krpata, narezana ali razdeljena, odvisno od globine zarez med krpami.

Grmičasti lišaji

Steljke grmičastih lišajev vedno štrlijo stran od podlage in so lahko lasaste, jermenaste ali grmičaste, lahko so ploščate ali cilindrične oblike itd. Nekatere vrste imajo dorziventralno organizirano steljko, večina jih je radialno simetričnih. Močno razrasli grmičasti lišaji imajo veliko razmerje med površino in volumnom, kar se pokaže v bolj hitrem sušenju in močenju v primerjavi z lišaji, ki imajo manjše razmerje.

2.5.1 Ekologija lišajev (povzeto po Poličnik 2008)

Lišaji za razliko od vaskularnih rastlin ne vzdržujejo stalnega vodnega potenciala in so klasični primer poikilohidrih organizmov. Njihov vodni potencial se pasivno spreminja glede na okoljske razmere. Ker se relativno hitro izsušijo, je razpoložljivost vode za njih primarnega pomena. Večina lišajev je odvisnih od dežja, nekateri pa so sposobni dobiti vodo tudi iz vodne pare v zraku pri nizkih temperaturah in veliki vlažnosti.

Lišaji so znani po počasni rasti in dolgoživosti. Nimajo centralnega vaskularnega sistema, po katerem bi se lahko prenašala hranila, hormoni in druge substance. Posledica heterogene zgradbe in pomanjkanja fiziološke celovitosti je ponavadi nepravilna in nepredvidljiva rast. Ko lišaj doseže določeno velikost, raste le še na robu steljke.

V steljki lišaja potekajo trije pomembni metabolni procesi: dihanje, fotosinteza in pri vrstah, kjer je fotobiont cianobakterija, tudi fiksacija dušika. Glede na osnovne fiziološke procese so lišaji prilagojeni na različne razmere glede svetlobe, temperature, dolžine dneva in vode. Voda je najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na rast lišajev. Rast je najhitrejša ob padavinah, oblačnih dnevih ali taljenju snega. Za rast lišajev je nujno potrebna izmenjava ciklov vlaženja in izsuševanja ter svetlobe in teme. Majhna vsebnost vode inhibira dihanje glive, kar v kombinaciji s svetlobo omogoča rast fotobiontu. Pri največji nasičenosti steljke z vodo in neprestani svetlobi pa bi prej ali slej propadel fotobiont, saj bi vse njegove fotosintetske produkte porabila gliva. Lišaji so tolerantni na ekstremne temperature, ki sicer lahko poškodujejo osnovne metabolne procese, vendar ni nujno, da lišajska steljka propade.

Nekatere vrste se zelo hitro prilagajajo na majhne ali velike intenzitete svetlobe, kar jim omogoča optimalno fotosintezo ne glede na prisotnost listov v drevesnih krošnjah. Pri

nekaterih vrstah poznamo sončni in senčni ekotip. Senčni imajo večjo vsebnost klorofila, sončni pa večjo fotosintezno kapaciteto.

2.5.2 Lišajske substance (povzeto po Poličnik 2008)

Lišajske substance delimo v dve glavni skupini:

1. primarni metaboliti:

- proteini, aminokisliline, karotenoidi, vitamini itd.
- kopičijo se znotrajcelično
- nekatere tvori mikobiont, druge fotobiont
- večinoma niso specifične substance in jih najdemo tudi pri prostoživečih organizmih

2. sekundarni metaboliti:

- odlagajo se zunajcelično (na površino hif)
- večino tvori gliva pri metabolizmu lipidov
- velika večina je edinstvena za te organizme
- izjemno pomembni pri taksonomiji lišajev
- določanje s kemijskimi metodami; npr. spot testi, tankoplastna kromatografija

2.6 VPLIV ONESNAŽIL NA LIŠAJE

Elementi vstopajo v notranjost lišajske steljke skozi površino kot mokra ali suha usedlina iz zraka, deloma tudi s spiranjem elementov s površine listov, debel in vej ali neposredno iz podlage (Poličnik 2008).

Ob onesnaženju lahko pride do vplivov na različne procese v lišajih ter do pojavljanja motenj in poškodb. Onesnažila vplivajo npr. na reprodukcijski potencial, rast, zgradbo, membrane, fotosintezo, dihanje in pigmente (Poličnik 2008).

Nekateri učinki so vidni na zunaj, drugih pa na prvi pogled ne moremo opaziti. Zmanjšanje reprodukcijskega potenciala lahko nastopi še preden opazimo druge vidne poškodbe na steljki. Mehanizem reprodukcije je zelo občutljiv in ker so lišaji sestavljeni vsaj iz dveh organizmov, so študije reprodukcijskega potenciala zelo kompleksne. Zaradi zmanjšane reprodukcije lahko izginjajo vrste iz določenih območij. Hitro opazna je obledelost ali potemnelost steljke zaradi onesnažil. Ostale spremembe v zgradbi lišajev so predvsem pri manjšem onesnaženju vrstno specifične ne glede na vrsto onesnažila. Pri večjem onesnaženju so spremembe bolj ali manj enake (Poličnik 2008). Ugotovitve Modenesija

(1993) so pokazale, da ima tretiranje s parakvatom na vrsto *Parmotrema reticulatum* podobne učinke, kot če jo izpostavimo z SO₂ onesnaženemu zraku. V obeh primerih so se pojavile kloroze talusa in rdečkaste lise na lobulih, vendar obstaja tudi možnost, da imata obe spojini skupen mehanizem prostih radikalov.

Glavni učinek, ki ga imajo onesnažila na celične membrane, je delovanje na njihovo zgradbo. To povzroči porušenje gradientov na obeh straneh membran in s tem motnje pri procesih, ki so vezani na membrane, npr. fotosinteza in dihanje (Poličnik 2008). Brown D. H. in Brown R. (1991, cit. po Garty in sod. 1985, 1988) poročata o povezavi med mešanico potencialno toksičnih elementov in upadanjem koncentracij klorofila in adenozin trifosfata.

Spremembe v rasti steljke se za ugotavljanje zračne onesnaženosti uporabljajo zelo redko, ker lišaji rastejo počasneje kot višje rastline (Poličnik 2008).

Veliko raziskav v zadnjih desetletjih je bilo usmerjenih v proučevanje delovanja SO₂ in njegovih pretvorbenih produktov na lišaje. Ugotovili so, da vplivajo na nekatere encime lišajskega metabolizma inhibitorno, na druge stimulatorno, reagirajo lahko z reaktivnimi biomolekulami in tvorijo proste radikale (Ahmadjian 1993). Vplivajo tudi na spremembe v svetlobnih reakcijah fotosinteze, poškodujejo lahko membranske proteine, zaradi česar prihaja do negativnih učinkov na procese izmenjave hranil med obema partnerjema asociacije. Kljub številnim učinkom, ki jih ima SO₂ na lišaje, pa ne vpliva v tolikšni meri na nitrofilne vrste. Pri teh sta pomembnejša pH drevesne skorje in koncentracija NH₃ v zraku (Poličnik 2008).

Lišaji so občutljivi tudi na druge okoljske spremembe, kot je na primer eutrofikacija. Ugotovljeno je bilo, da ima glavno vlogo pri pojavljanju različnih vrst lišajev amonijev ion, pomembni pa so tudi nitratni ioni. Nekatere vrste lišajev vežejo več dušika (nitrofilne ali dušikoljubne vrste), druge ga ne vežejo (acidofilne ali kisloljubne vrste). Vsebnost dušika je odvisna od oddaljenosti od vira onesnaževanja (Poličnik 2008). Franzen-Reuter in Frahm (2007) ugotavljata, da je neposredna reakcija na povečano odlaganje dušika vrstno specifična. Možne posledice so pospešena rast, zmanjšanje pokrovnosti, nekroze. Eutrofikacija območja lahko tudi posredno vpliva na razširjenost lišajev. V prej oligotrofnem okolju začnejo uspevati višje rastline, ki s pospešeno rastjo vedno bolj reducirajo svetlobo, veter in izmenjavo zraka blizu tal, ki so podlaga za nekatere vrste lišajev (terikolni lišaji). Naraščajoča vlaga in senca predstavljata ugodne razmere za kaljenje rastlin, s katerimi se počasi in nizko rastoči lišaji ne morejo kosati (Vagts in sod. 1994).

Intenzivno kmetijstvo uničuje lišaje z uporabo pesticidov, od katerih so herbicidi običajno manj uničujoči kot fungicidi (Bartok 1999). Vidergar-Gorjupova (2001) je pri tretiranju različnih vrst lišajev s pesticidi v sadovnjaku med drugim izmerila zmanjšano fotokemijsko učinkovitost PS II, zmanjšano vitalnost steljk in upad vsebnosti klorofila.

Gnojila imajo različne učinke na lišaje; spremembe v zgradbi lišajske obrasti, vpliv na razširjenost vrst in kolonizacijo, poškodbe steljke in povečan privzem dušika (Ruoss 1999).

Lišaje lahko glede na občutljivost na onesnaženje zraka razdelimo v dve glavni skupini: toksitolerantne in na onesnažen zrak občutljive vrste (Poličnik 2008).

Iz tega poglavja sledi, da je pri izbiri vrste lišaja, ki ga bomo uporabili za bioindikator, potrebno upoštevati tudi vrsto in raven onesnaženja, ki ga želimo spremljati.

2.6.1 Nitrofilne in toksitolerantne vrste

Glede na vrstno sestavo prisotnih lišajev na nekem območju lahko sklepamo na vrsto in tudi na stopnjo onesnaženja. Raziskovalci so za onesnaženje z SO₂ in NH₃ opredelili vrstno sestavo lišajev in njihovo pogostost. Glede na preglednico iz Poličnik (2008) lahko razporedimo nitrofilne vrste od bolj proti manj nitrofilnim v naslednje razrede (prirejeno po Poličnik 2008: Preglednica 5):

1. *Phaeophyscia nigricans*, *Candelariella aurella*, *Caloplaca holocarpa*, *Rinodina gennarii*
2. *Lecanora dispersa*, *Phaeophyscia orbicularis*
3. *Physcia dubia*
4. *Physcia caesia*
5. *Physcia adscendens*, *Xanthoria parietina*, *Xanthoria candelaria*
6. *Physcia tenella*, *Xanthoria polycarpa*

Pri določanju onesnaženosti s SO₂ se upošteva veliko število vrst, pomembna je tudi njihova pogostost in zastopanost v spodnjem delu debla in razširjenost po deblu navzgor. Če poenostavimo, lahko iz Preglednice 4 v Poličnik (2008) izluščimo na SO₂ najbolj tolerantne vrste epifitov. Starim imenom so v oklepaju dodana trenutno veljavna imena po Nimisu in Martellosu (2008):

1. *Pleurococcus viridis*
2. *Lecanora conizaeoides*
3. *Lepraria incana*
4. *Lecidea scalaris* (= *Hypocenomyce scalaris*)
5. *Lecidea scalaris*, *Lecanora expallens*, *Chaenotheca ferruginea*
6. *Parmelia glabratula* (= *Melanelixia fuliginosa*), *Parmelia subrudecta* (= *Punctelia subrudecta*), *Parmeliopsis ambigua*, *Lecanora chlarotera*
7. *Calicium viride*, *Lepraria candelaris* (= *Chrysothrix candelaris*), *Pertusaria amara*
8. *Ramalina farinacea*, *Evernia prunastri*, *Platismatia glauca*
9. *Parmelia caperata* (= *Flavoparmelia caperata*), rod *Pertusaria*, rod *Parmelia*, *Graphis elegans*, *Pseudevernia furfuracea*, *Alectoria fuscescens* (= *Bryoria fuscescens*)

Na pojavljanje in diverzitetu lišajev vpliva tudi raba prostora. V naravnih gozdovih najdemo veliko vrstno bogastvo epifitskih lišajev in manj nitrofilnih vrst, medtem ko je na kmetijskih površinah značilna odsotnost kisloljubnih lišajev in velik delež nitrofilnih vrst (Poličnik 2008), ki prevladajo, ker prisotnost amonija zviša pH podlage (Welch in sod. 2006) v veliki meri pa so tudi toksitolerantni (van Herk 2001) in s tem odpornejši na biocide.

Epifitske lišaje lahko uspešno uporabimo za opise ekoloških trendov v naravnih okoljih in širše, vendar ne smemo zanemariti morebitnega vpliva klime. Pri študijah kartiranja predpostavljamo, da imajo okoljski parametri (razen onesnaženja) enakomeren učinek na lišaje. Pozorni moramo biti tudi na t.i. obratne monitorne organizme, kot je npr. *Lecanora conizaeoides*, ki se pogosteje pojavlja v bolj onesnaženih območjih (Poličnik 2008).

2.7 SPREMLJANJE KAKOVOSTI ZRAKA V SLOVENIJI

Vodilna organizacija, ki v Sloveniji koordinira in izvaja meritve zračne onesnaženosti je Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). Njene naloge na področju varovanja kakovosti zraka so (ARSO-zrak... 2012):

- spremljanje stanja kakovosti zunanjega zraka
- zbiranje podatkov o emisijah v zrak
- izvajanje upravnih postopkov za zaščito kakovosti zunanjega zraka

Periodično spremljanje zapovedujejo smernice Evropske unije, katere del je naša država. Države članice so dolžne izvajati meritve onesnažil, katerih metode in standardi kakovosti so predpisani z uredbami in pravilniki. O pridobljenih podatkih je potrebno poročati Evropski okoljski agenciji (EEA), o kakovosti zraka pa sproti obveščati domačo javnost. Uredbe določajo tudi mejne koncentracije onesnažil, nad katerimi je ogroženo zdravje ljudi v naseljenih območjih in ravnotežje naravnih ekosistemov. Letna poročila so objavljena na spletnih straneh ARSO (Spremljanje kakovosti... 2011).

Gozdarski inštitut Slovenije izvaja redni monitoring gozdov, imenovan tudi gozdna inventura, ki je namenjen spremljanju stanja in sprememb vitalnosti gozdnega drevja. Z njim se Slovenija vključuje v mednarodno razporedeni program ICP Forest, ki ga izvajajo v večini evropskih dežel, v Kanadi, ZDA in nekaterih azijskih deželah (Kovač in sod. 2007). V okviru inventure se opravlja popis lišajske vegetacije, ki služi bioindikaciji onesnaženosti zraka (Monitoring gozdov... 2012). V letu 2007 zbrani podatki so analizirani v članku Analiza stanja lišajev v popisu stanja gozdov v letu 2007, ki je izšel v Gozdarskem vestniku (Batič in sod. 2011).

2.7.1 Trendi onesnaženosti v Sloveniji v zadnjem desetletju

Po poročanju ARSO (Bolte 2011a) so se letni izpusti SO_2 v Sloveniji od leta 1980 do leta 2009 zmanjšali za 95,1 %. V zadnjem desetletju so letne emisije padle iz slabih 100000 ton leta 2000 na dobrih 10000 ton leta 2009. Padajoči trend se je v letu 2010 ustavil in marsikje so koncentracije tako majhne, da so le malo nad spodnjo mejo detekcije uporabljenih merilnikov.

Letni izpusti NO_x v Sloveniji so se leta 2009 zmanjšali za skoraj 23,8 % v primerjavi z letom 1987. Za vmesna nihanja so poskrbele spremembe v količini prometnih vozil in v tehnologiji izpuhov, v letu 2010 se ponovno zmanjšuje zaradi manjše porabe energentov v industriji, energetiki in malih kuriščih. Povprečna letna koncentracija NO_2 se od leta 2002 naprej bistveno ne spreminja in je povsod razen na lokaciji Ljubljana-Center pod mejno vrednostjo.

Od leta 1980 do leta 2009 so letni izpusti CO v Sloveniji bolj ali manj v enakomernem trendu upadanja in so se zmanjšali za 56,38 %. V obdobju od leta 2000 do leta 2009 so se zmanjšali iz 200.000 na 125.000 ton.

Povprečne letne koncentracije ozona ne kažejo opaznih tendenc v zadnjem desetletju. Manjša nihanja so posledica vremenskih razmer, predvsem različnih temperatur in količin padavin poleti.

Letni izpusti PM₁₀ so se v Sloveniji od leta 2000 do leta 2009 zmanjšali za 18,5 %. Skupni delež v l. 2009 je znašal dobrih 15.000 ton, največji delež prispevajo mala kurišča.

Med organskimi spojinami, ki onesnažujejo zrak, imajo posebno mesto nemetanske lahkohlapne organske spojine (NMVOC) zaradi vloge v fotokemičnih procesih, katerih produkt je tudi ozon. Od leta 1990 do leta 2009 so se letni izpusti NMVOC v Sloveniji zmanjšali za 43,75 %, čeprav so v devetdesetih letih rahlo naraščali. Po letu 1996 skoraj konstantno upadajo in so od l. 2000 iz 45.000 ton padli na 30.000 ton l. 2009.

Letni izpusti nevarnih kovin svinca in živega srebra so upadli. Predvsem svinec je v zadnjem desetletju izredno upadel (iz 60 na 15 ton) zaradi popolnega umika osvinčenega bencina s tržišča l. 2001. Kadmij se po l. 2004 ponovno povečuje z izjemo l. 2009. Vsebnost arzena, kadmija, niklja in svinca v delcih PM₁₀ je majhna in pod spodnjim ocenjevalnim pragom.

Na državni ravni se izvajajo tudi meritve kislosti padavin. Meritev se izraža kumulativno na površinsko enoto, torej dejansko usedanje ne glede na količino padavin in koncentracijo v zraku na določenem območju. Pri merjenju letne depozicije žvepla sulfatnega izvora v padavinah je v letih 2005-2010 zaznati trend upadanja. Za dušik nitratnega izvora v padavinah so izmerjene vrednosti na enakem ali nižjem nivoju kot prejšnja leta. Gre za rahel trend upadanja na vseh merilnih mestih z izjemo Ljubljane-Bežigrad.

Poraba fitofarmacevtskih sredstev se je v zadnjih desetih letih (2000-2010) opazno zmanjšala in v letu 2010 dosegla najnižjo vrednost odkar se spremlja njihova prodaja. Največji delež predstavljajo fungicidi, večinoma na žvepleni osnovi, ki so manj obremenjujoči za okolje (Simončič 2011).

Glede na opisane trende bi pri naši raziskavi pričakovali izboljšanje stanja epifitskih lišajev tako po pokrovnosti kot po številu vrst, vendar sta že Batič in Kastelec (2009) po analizi med leti 2000 in 2007 ugotovila, da temu ni tako.

2.8 OBMOČJE RAZISKAVE

2.8.1 Geografska omejitev in opis

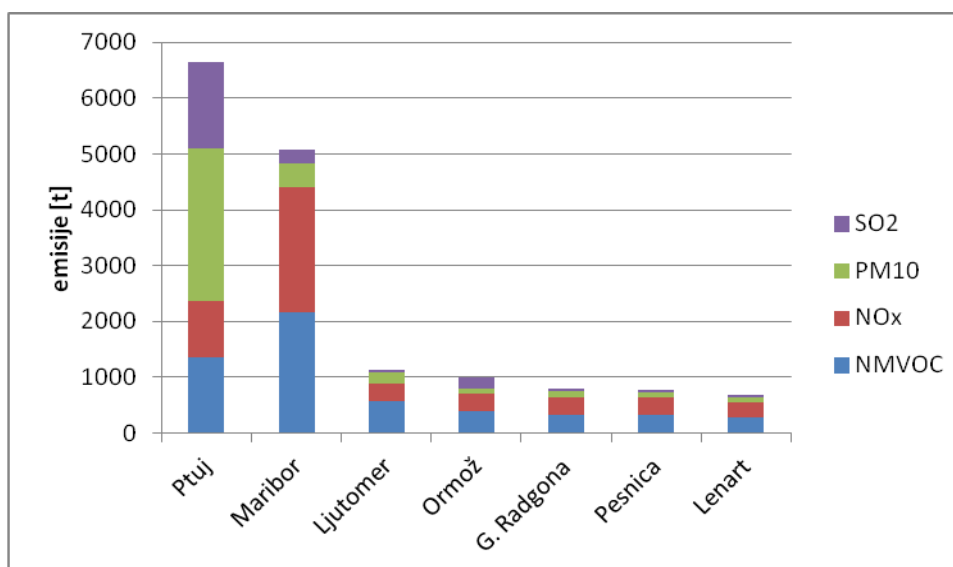
Slovenske Gorice so največje gričevje v severovzhodni Sloveniji in obsegajo terciarno gričevje med ravninama rek Mura in Drava. Za pokrajino so značilna nizka slemena in griči, ki ne presegajo 400 metrov nadmorske višine. Osrednja slemenitev poteka v smeri od

severozahoda proti jugovzhodu. Med griči so številne doline, ki so jih v terciarni lapor in peščenjak urezali potoki in reke (Fridl in sod. 1998). Doline so intenzivno kmetijsko obdelane, prisojna pobočja pokrivajo vinogradi in sadovnjaki, osojna pa gozd. Zaradi kmetijstva je pokrajina obremenjena z nitrati in fitofarmaceutskimi sredstvi, zaradi naselij pa tudi s komunalnimi odplakami (Radovanovič in sod. 1996).

2.8.2 Klimatološke značilnosti

Za to območje je značilno zmerno celinsko podnebje, povprečno pade na tem območju do 1000 mm padavin letno. Povprečna letna temperatura zraka je od 8 do 10 °C, januarska od -2 do 0 °C, julijska pa od 18 do 20 °C (Fridl in sod. 1998).

2.8.3 Onesnaženost



Slika 1: Skupne emisije žveplovega dioksida (SO₂), dušikovih oksidov (NO_x), lahkihplapnih nemetanskih ogljikovodikov (NMVOC) in trdnih delcev PM₁₀ v letu 2006 po upravnih enotah (VIR: Planinšek 2010: Tabela 1).

Po količini v zrak poslanih emisij prednjačita upravni enoti Ptuj in Maribor (Slika 1). K emisijam v UE Ptuj veliko pripomore tovarna Talum v Kidričevem, ki je med večjimi onesnaževalci v Sloveniji in oddaja širok spekter zračnih onesnažil. V letu 2006 je bilo v UE Ptuj največ emisij delcev PM₁₀, velike in primerljive deleže pa zasedajo tudi ostala merjena onesnažila: SO₂, NMVOC in NO_x. V UE Maribor izstopajo NO_x in NMVOC, ostalih je bistveno manj (Planinšek 2010).

Na celotnem območju je največ emisij NMVOC (5430 t), sledijo dušikovi oksidi (4753 t), delci PM₁₀ (3741 t) in SO₂ (2219 t). Največji vir emisij SO₂ so industrijski procesi, največji vir NO_x pa promet (Planinšek 2010).

Slovenija je za namen upravljanja kakovosti zraka razdeljena na 6 območij. Slovenske Gorice so del območja SI1 (Pomurje in Podravje brez mestne občine Maribor) in SIM (MO Maribor). Območje je pretežno kmetijsko, razmeroma dobro prevetreno in brez velikih onesnaževalcev z izjemo industrijskih kompleksov v Kidričevem. Po meritvah in oceni ARSO so za območje SI1 značilne velike koncentracije ozona in v času kurilne sezone ter ob prometnicah tudi koncentracije delcev. Z delci je onesnaženo tudi območje SIM, blizu zgornje meje sta NO_2 in benzen (Planinšek 2010).

2.8.4 Spremembe v zadnjih letih

Analiza pokrovnosti epifitskih lišajev med letoma 2000 in 2007 (Batič in Kastelec 2009) je pokazala poslabšanje stanja na večini popisnih ploskev v Slovenskih Goricah. Rezultata na dveh ploskvah sta ostala nespremenjena (KPP 537 in 538), na eni izmed njih pa je bilo zaznati izboljšanje (KPP 536). Gre za lokacije severno in severozahodno od Ormoža.

3 MATERIAL IN METODE

3.1 NAČIN TERENSKEGA DELA:

Pri popisu smo kombinirali metodo popisa, ki jo uporablja Gozdarski inštitut Slovenije in metodo Združenja Nemških inženirjev (VDI). Pri obeh se za popis uporablja predpisana popisna mrežica. Pri prvi metodi se upošteva pokrovnost treh tipov lišajskih steljk znotraj mrežice, pri drugi pa vrstna sestava in frekvenca pojavljanja posameznih vrst.

3.1.1 Izbira popisnih mest

Popisna mesta so enaka kot pri popisu gozdov. Gre za mrežo z ločljivostjo 4 x 4 km, ki je določena za celo državo. Na točkah, ki ne padejo v gozd, popis ni mogoč, zato so izločene. Izbrali smo točke, ki ležijo na območju Slovenskih Goric (Preglednica 1).

Preglednica 1: Seznam popisnih ploskev (KPP) z najbližjim naseljem in občino.

KPP	Kraj	Občina
365	Radomerje	Ljutomer
366	Stara Cesta	Ljutomer
367	Kuršinci	Ljutomer
463	Janežovci	Destrnik
464	Novinci	Sv. Andraž v Slov. Goricah
465	Juršinci	Juršinci
466	Hlaponci	Juršinci
487	Šober	Maribor
488	Srednje	Maribor
489	Rošpoh	Maribor
490	Kamnica	Maribor
509	Zgornja Kungota	Kungota
510	Selnica ob Muri	Šentilj
517	Jablance	Duplek
521	Spodnji Gasteraj	Sv. Jurij v Slov. Goricah
523	Rogoznica	Lenart
535	Koračice	Sv. Tomaž
536	Sejanci	Sv. Tomaž
537	Runeč	Ormož
538	Strmec pri Ormožu	Ormož
539	Vuzmetinci	Ormož
3512	Zg. Jakobski Dol	Pesnica
3533	Ciglenca	Duplek
7042	Gerečja vas	Hajdina
7043	Kapelski Vrh	Radenci

3.1.2 Izbor dreves na popisnem mestu

Za popis lišajev smo izbrali vsaj 3 primerna drevesa. Primerno drevo je dovolj staro (premer debla vsaj 20 cm), neobraslo z grmovjem, ravno in nepoškodovano. Poraslost debla z mahovi ne sme presegati 20 %. Kjer je bilo mogoče, smo popisali drevesa iz iste drevesne skupine. Primerjamo lahko le drevesa, ki imajo podobne lastnosti skorje; pH, sposobnost zadrževanja vode, vsebnost hranilnih snovi (VDI 1995). Zadostno starost smo zagotovili tako, da smo izbrali najdebelejša drevesa.

Skupine vrst dreves so (Kovač in sod. 2007):

1. skupina: bukev, navadni beli gaber;
2. skupina: navadna smreka, navadni macesen;
3. skupina: bela jelka;
4. skupina: hrasti (dob, graden, cer, puhasti hrast, pravi kostanj, črni gaber);
5. skupina: javorji, lipe in jeseni (gorski, ostrolistni, topokrpi javor, lipa, lipovec, veliki in mali jesen);
6. skupina: vrbe in topoli.

3.1.3 Namestitev popisne mrežice

Na drevo se namesti popisna mrežica velikosti 20 x 50 cm, ki je razdeljena na 20 oken (10 x 10 cm), ta pa so dalje razdeljena na 25 manjših okenc (2 x 2 cm). Spodnji rob mrežice se namesti 1 m nad tlemi na tisti strani debla, ki je najbolj poraščeno z lišaji in čim manj poraslo z mahovi. Če je poraščenost na vseh nebesnih straneh debla enaka, se izbere jugozahodna smer.



Slika 2: Popisna mrežica na eni izmed popisanih bukev.

3.1.4 Popis lišajev

Za potrebe popisa relativne pokrovnosti (RPL) upoštevamo lišaje, ki se nahajajo v okencih popisne mrežice. Ocenjujemo pokrovnost treh osnovnih rastnih tipov lišajev – skorjastih, listastih in grmičastih. Pokrovnost posameznega tipa v malem okencu ocenimo na pol okenca natančno in mu pripišemo vrednost 0,1, 0,5 ali 1 ter seštejemo vrednost v okviru večjega okna, ki ga vpišemo v popisni obrazec. Upoštevamo jasno razpoznavne steljke lišajev velikosti 1 mm² in več, razen skorjaste vrste *Scoliciosporum chlorococcum*, ki tvori zelenkasto-sivkaste prevleke tudi v onesnaženih območjih (Kovač in sod. 2007).

Za izračun vrednosti po metodi VDI zabeležimo vrste lišajev in njihovo frekvenco pojavljanja v večjih okencih. Zabeležimo tudi vrste izven mrežice in jim pripišemo frekvenco 1. Pri tej metodi je potrebno izločiti lišaje, ki merijo v premeru manj kot 3 mm, da se izognemo napakam. Od lišajev, katerih vrste ne moremo določiti, shranimo del steljke (izven mrežice) za kasnejšo laboratorijsko določitev (VDI 1995).

3.2 LABORATORIJSKO DOLOČANJE LIŠAJEV

Določanje lišajev smo opravili v laboratoriju Gozdarskega inštituta Slovenije v Ljubljani s pomočjo namizne lupe in mikroskopa ter kemijskih reagentov. Na Univerzi Karla-Franca v Gradcu (Avstrija) smo opravili analize lišajskih substanc s tankoplastno kromatografijo. Pri določanju smo uporabili določevalne ključe Kirschbaum (1997), Poelt in Vezda (1977), Schreiner in Hafellner (1992), Wirth (1995), Wirth in Düll (2000). Aktualna imena lišajev smo poiskali s pomočjo spletnega informacijskega sistema lišajev Italije (Nimis in Martellos 2008).

3.3 IZRAČUN INDEKSOV IN ANALIZA ZBRANIH PODATKOV

3.3.1 Metoda VDI

Iz popisnih frekvenc izračunamo vrednost čistosti zraka (Luftgütewerte oz. na kratko LGW) na popisnem mestu, standardni odklon ter spodnjo in zgornjo mejo zaupanja po spodnjih enačbah:

$$LGW_j = \Sigma(F_{ij})/n_j$$

$$S_j = \sqrt{(\Sigma(F_{ij}-LGW_j)^2/n_j-1)}$$

$$VGU_j, VGO_j = LGW_j \pm t_j \cdot (s_j / \text{SQRT}_{n_j})$$

Razlaga simbolov:

i – številka drevesa na popisni ploskvi

j – številka popisne ploskve

F_{ij} – vsota lišajskih frekvenc drevesa i na popisni ploskvi j

n_j – skupno število kartiranih dreves na popisni ploskvi j

s_j – standardni odklon popisne ploskve j

VGU_j – spodnja meja zaupanja LGW_j

VGO_j – zgornja meja zaupanja LGW_j

t_j – kritična vrednost Studentove t-porazdelitve za $n_j - 1$ stopinj prostosti

Z nadaljnjimi izračuni lahko namesto vrednosti LGW opredelimo rezultate tudi kot razrede čistosti zraka (glej: VDI 1995).

3.3.2 Metoda relativne pokrovnosti lišajev (RPL)

Relativna pokrovnost z lišaji se izraža v odstotkih in izračuna tako, da vsoto okenc za posamezni tip lišajev na obravnavanem drevesu pomnožimo z 0,4. Do te številke pridemo, ker vsoto delimo s številom okenc v mrežici (250) in množimo s 100, da dobimo odstotke.

$$RPL = n_i \cdot 0,4$$

n_i – vsota okenc na drevesu i

Reprezentativna vrednost celotne popisne ploskve je mediana vrednosti RPL dreves iste drevesne skupine na dotični ploskvi. Popisana morajo biti najmanj 3 drevesa iste drevesne skupine. Oceno variabilnosti podatkov opišemo z variacijskim razmikom; minimum in maksimum relativne pokrovnosti z lišaji (Batič in Kastelec 2009).

Glede na vrednosti RPL obeh prisotnih rastnih tipov lišajev, smo določili razrede čistosti po zgledu Batiča in sod. (2011) (Preglednica 2).

Preglednica 2: Določanje RPL-razredov čistosti zraka glede na mediane pokrovnosti treh rastnih tipov lišajev (povzeto po Batič in sod. 2011).

Oznaka razreda	Kategorije glede na mediane pokrovnosti
0	ni lišajev
1	samo skorjasti $\leq 10\%$
2	samo skorjasti $< 10\%$
3	skorjasti $\leq 10\%$ in listasti $\leq 10\%$
4	skorjasti $\leq 10\%$ in listasti $> 10\%$
5	skorjasti $> 10\%$ in listasti $\leq 10\%$
6	skorjasti $> 10\%$ in listasti $> 10\%$
7	vsi trije tipi

3.3.3 Ekološki indeksi po Ellenbergu

Za popisne ploskve smo izračunali vrednosti ekoloških indeksov po Ellenbergu in sod. (1992). Lišajskim vrstam so pripisane vrednosti glede na kontinentalnost, acidofilnost, nitrofilnost, toksitolerantnost ter njihovo potrebo po svetlobi, toploti in vlagi. Vrednost posamezne ploskve se izračuna kot povprečna vrednost popisanih vrst za določeno lastnost. Pri naši raziskavi nas zanima acidofilnost, nitrofilnost in toksitolerantnost.

Preglednica 3: Ekološki indeksi po Ellenbergu in sod. (1992); simboli in razpon lestvic s poenostavljeno razlago.

Simbol	Razlaga	min	max
L	svetloba	1 globoka senca	9 zelo svetlo
T	temperatura	1 hladno	9 toplo
K	kontinentalnost	1 oceansko	9 kontinentalno
F	vlačnost	1 suho	9 vlažno
R	reakcija/ acidofilnost	1 kislo	9 bazično
N	nitrofilnost	1 hranilno revno	9 tolerantno na gnojenje
To	toksitolerantnost	1 majhna	9 velika

3.3.4 Meritve oddaljenosti od mesta

Oddaljenost popisne ploskve od bližnjega mesta smo opravili s spletno aplikacijo Geopedia (<http://www.geopedia.si>), s katero smo izmerili zračno linijo od središča mesta do izbrane točke.

4 REZULTATI

4.1 POPISANE LOKACIJE IN VRSTE

Obdelanih je bilo 25 popisnih mest, eno izmed njih ni bilo ustrezno za popis lišajev zaradi odsotnosti primernih dreves. Kot smo predvidevali, je glede na teoretično predvideno mrežo popisnih ploskev njihovo dejansko število bistveno manjše zaradi fragmentiranosti gozda. Zaradi intenzivnega kmetijstva so položne in prisojne lege večinoma izkoriščene za poljedelstvo in sadjarstvo.

Pri popisu in po laboratorijski analizi smo zabeležili 48 različnih taksonov epifitskih lišajev (Preglednica 4). Večino smo uspeli določiti do vrste, nekaj do rodu, nekaj pa jih je ostalo nedoločenih na nivoju ravnega tipa. Ker je v splošnem lišajska vegetacija na območju precej slaba, so bili nabrani vzorci nemalokrat premajhni tudi za laboratorijsko določanje, saj iz njih nismo uspeli pridobiti dovolj potrebnih lišajskih snovi.

Najbolj razširjene vrste na območju so *Phlyctis argena*, *Graphis scripta*, nitrofilna vrsta *Phaeophyscia orbicularis*, *Lepraria lobificans* in *Melanohalea exasperatula*. Veliko skorjastih lišajev je ostalo nedoločenih, pogosti so tudi nedoločeni listasti lišaji in rod *Physcia*, ki velja za nitrofilnega (van Herk 1999 in 2001, Poličnik 2008).

Preglednica 4: Popisane vrste, rastni tip (S=skorjasti, L=listasti) in število popisnih ploskev, na katerih je bila vrsta najdena.

tip	VRSTA	št. lokacij
S	<i>Acrocordia conoidea</i>	1
S	<i>Arthonia radiata</i>	1
S	<i>Arthothelium ruanum</i>	1
S	<i>Buellia punctata</i>	1
L	<i>Candelaria concolor</i>	1
S	<i>Candelariella</i> group	1
S	<i>Candelariella reflexa</i>	2
S	<i>Candelariella xanthostigma</i>	1
L	<i>Cetrelia cetrarioides</i>	1
L	<i>Cladonia</i> sp.	4
L	<i>Evernia prunastri</i>	1
L	<i>Flavoparmelia caperata</i>	1
S	<i>Graphis scripta</i>	12
L	<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	3

S	<i>Lecanora argentata</i> s.l.	1
S	<i>Lecanora carpinea</i>	1
S	<i>Lecanora carpinea</i> group	1
S	<i>Lecanora expallens</i>	1
S	<i>Lecanora</i> sp.	1
S	<i>Lecidella elaeochroma</i>	2
S	<i>Lepraria</i> group (<i>lobificans</i> , <i>rigidula</i> , <i>vouauxii</i>)	2
S	<i>Lepraria lobificans</i>	8
S	<i>Lepraria</i> sp.	1
S	<i>Lepraria vouauxii</i>	3
L	<i>Melanelixia fuliginosa</i>	3
L	<i>Melanelixia subaurifera</i>	4
L	<i>Melanelixia subaurifera/fuliginosa</i>	3

Se nadaljuje

Nadaljevanje

tip	VRSTA	št. lokacij
L	<i>Melanohalea elegantula/exasperatula</i>	1
L	<i>Melanohalea exasperatula</i>	6
L	<i>Melanohalea</i> sp.	2
S	nedol.	12
L	nedol.	5
L	<i>Normandina pulchella</i>	1
S	<i>Opegrapha viridis</i>	2
L	<i>Parmelia saxatilis</i>	2

L	<i>Parmelia</i> sp.	1
L	<i>Parmelia sulcata</i>	4
L	<i>Parmelina tiliacea</i>	1
S	<i>Pertusaria albescens</i>	1
L	<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	9
S	<i>Phlyctis argena</i>	13
L	<i>Physcia adscendens</i>	1
L	<i>Physcia adscendens/tenella</i>	1
L	<i>Physcia</i> sp.	5
S	<i>Pyrenula nitida</i>	2
S	<i>Pyrenula nitidella</i>	2
L	<i>Xanthoria candelaria</i>	1

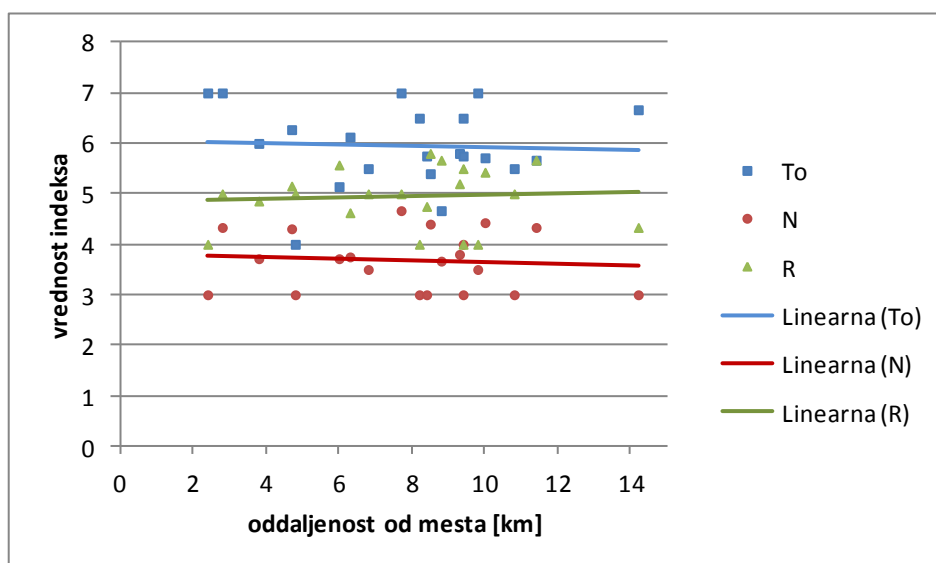
4.2 EKOLOŠKI INDEKSI

Pri izračunu so upoštevani vsi zabeleženi lišaji (brez vrste *Scoliciosporum chlorococcum*), ki so v delu Ellenberga (1992) ovrednoteni z indikatorskimi vrednostmi. Glede na hipoteze in cilje raziskave nas zanimajo indeksi nitrofilnosti (N), acidofilnosti (R) in toksitolerance (To). Izračunane vrednosti naše raziskave so podane v Preglednici 5 in niso obtežene s frekvenco pojavljanja lišajev.

Preglednica 5: Vrednosti nekaterih ekoloških indeksov na popisanem območju. N= indeks nitrofilnosti, razpon od 1 (hranilno revno) do 9 (tolerantno na gnojenje). R= indeks kislosti podlage, razpon od 1 (kislo) do 9 (bazično). To= indeks toksitolerantnosti, razpon od 1 (majhna) do 9 (velika). Dodatna razlaga je v Preglednici 3.

indeks	srednja			RAZLAGA
	min	max	vrednost	
N	3,0	4,7	3,7	skorja zmerno bogata do bogata z minerali ali zmerno impregnirana s prahom, bogatim z dušikom
R	4,0	5,8	4,9	skorja dokaj ali zmerno kisla, pH: 4,9 – 5,6
To	4,0	7,0	6,0	srednja do dokaj visoka

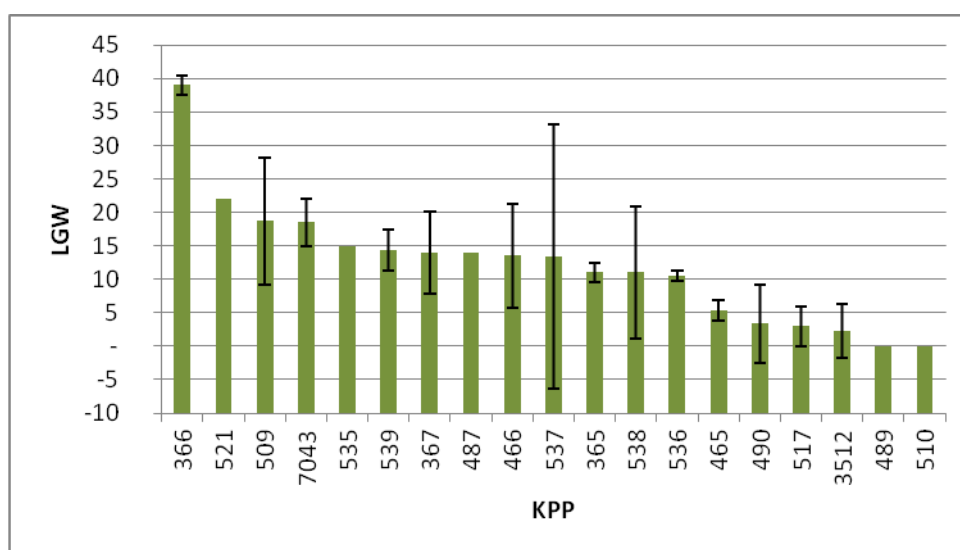
Pri izračunu oddaljenosti od mesta smo s pomočjo spletne aplikacije na portalu Geopedia (<http://www.geopedia.si>) izmerili zračno razdaljo od središča najbližjega mesta (Gornja Radgona, Lenart, Ljutomer, Maribor, Ormož, Ptuj) do popisne ploskve. Z oddaljenostjo od mesta se manjšajo nitrofilnost, toksitolerantnost in kislost podlage (Slika 3).



Slika 3: Ekološki indeksi po Ellenbergu (1992) glede na oddaljenost od mesta. To= indeks toksitolerantnosti, porazdeljene podatke povzema modra trendna črta. N= indeks nitrofilnosti, porazdeljene podatke povzema rdeča trendna črta. R= indeks kislosti podlage, porazdeljene podatke povzema zelena trendna črta.

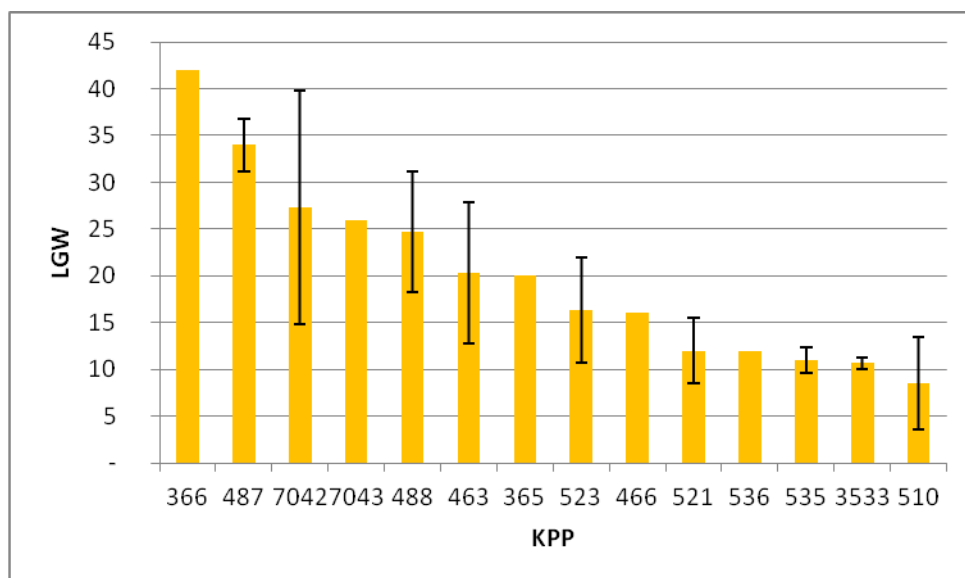
4.3 METODA VDI – INDEKS LGW

Na Sliki 4 so prikazane vrednosti indeksa LGW na drevesni skupini bukev. Predstavnik skupine, ki sta bila popisana pri naši raziskavi, sta navadna bukev (*Fagus sylvatica*) in navadni gaber (*Carpinus betulus*). Vrednosti indeksa so med 0 in 39. Srednja standardna deviacija raziskave je 4,14. Vrednosti so nekoliko manjše kot pri skupini hrastov (Slika 5).



Slika 4: Vrednosti indeksa LGW na popisanih ploskvah - drevesna skupina bukev. Prikazane so srednje vrednosti in standardna deviacija.

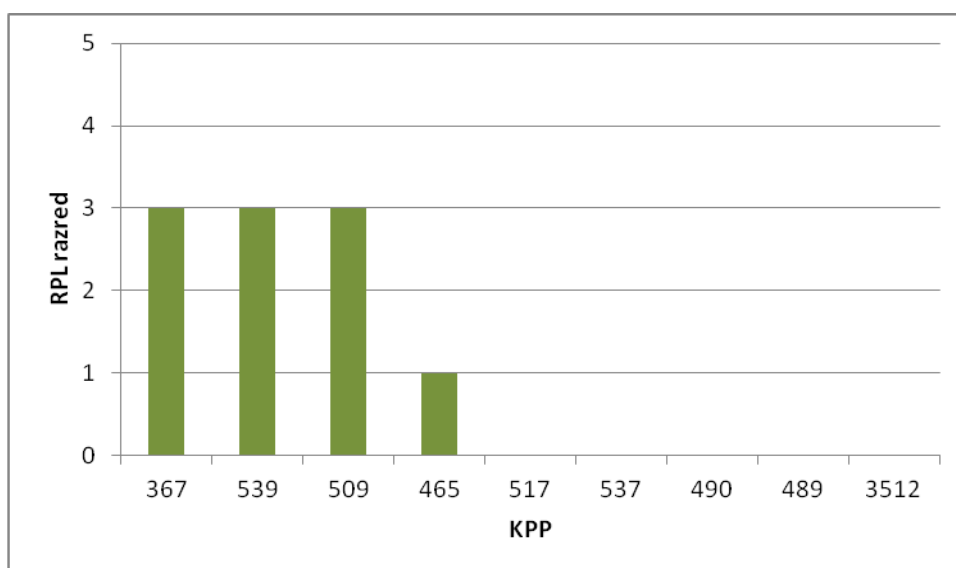
Iz drevesne skupine hrastov so bili popisani graden (*Quercus petraea*), dob (*Quercus robur*) in pravi kostanj (*Castanea sativa*). Vrednosti indeksa so med 8,5 in 42 (Slika 5). Srednja standardna deviacija raziskave je 6,09.



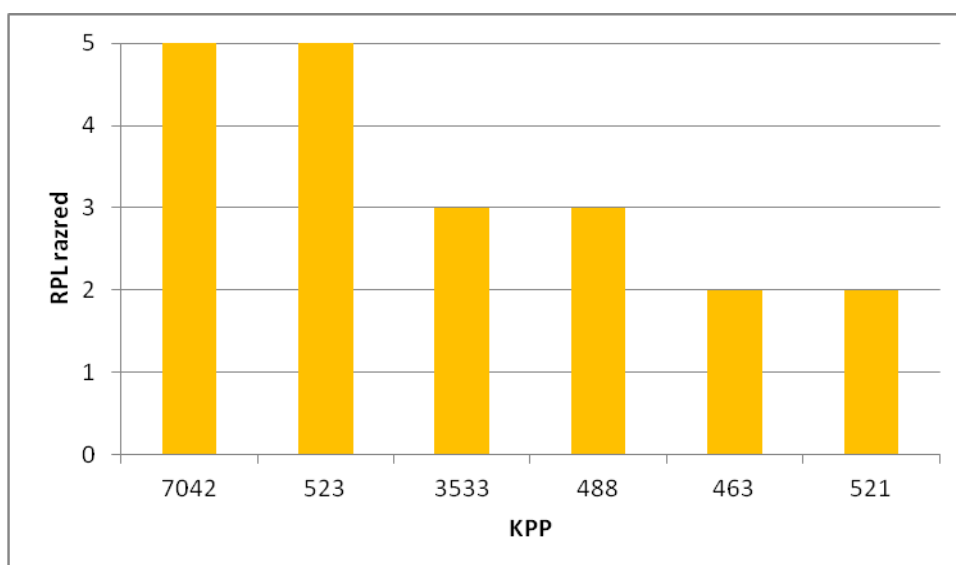
Slika 5: Vrednosti indeksa LGW na popisanih ploskvah - drevesna skupina hrasti. Prikazane so srednje vrednosti in standardna deviacija.

4.4 METODA RELATIVNE POKROVNOSTI (RPL) IN RAZREDI ČISTOSTI

Po tej metodi je ovrednotenih manj ploskev kot z metodo VDI, ker zanjo potrebujemo vsaj 3 primerna drevesa iz iste skupine, kar pa ni bilo vedno dosegljivo. Na Sliki 6 vidimo, da več kot polovica ploskev pade v RPL-razred nič, kar pomeni, da lišajev ni. Že na terenu je bilo opaziti slabše stanje na drevesni skupini bukev v primerjavi s hrasti, pri katerih so najslabše ploskve v 2. razredu čistosti zraka (Slika 7).



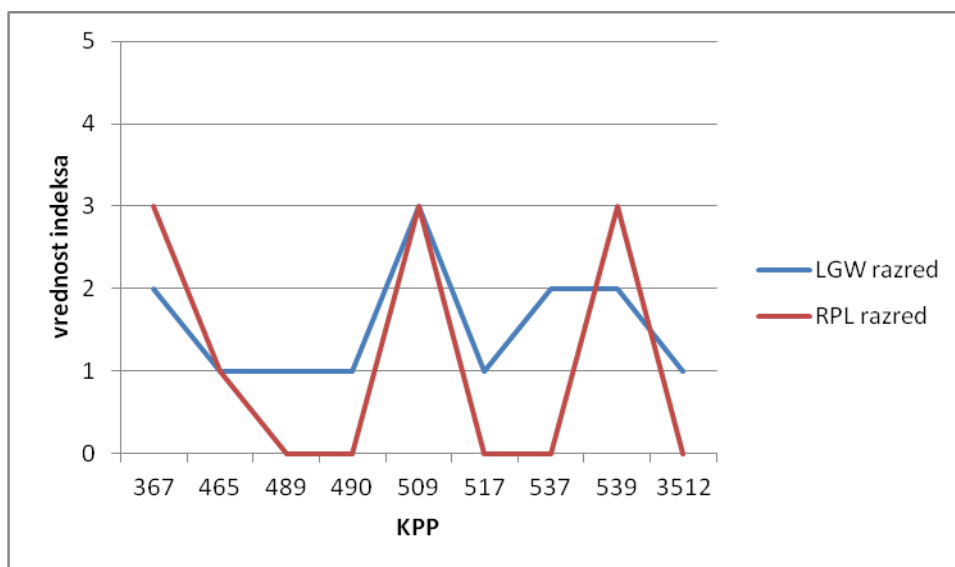
Slika 6: RPL-razredi čistosti zraka na popisnih ploskvah – drevesna skupina bukev.



Slika 7: RPL-razredi čistosti zraka na popisnih ploskvah – drevesna skupina hrasti.

4.5 PRIMERJAVA METOD

Primerjali smo obe uporabljeni metodi in ugotovili, da kažeta primerljive odnose med ploskvami (Sliki 8 in 9). Slovenska metoda RPL ima večjo ločljivost, razlike med ploskvami so večje. Nemška metoda VDI ima nižji spodnji ocenjevalni prag, saj najslabše ocenjene ploskve padejo vsaj v prvi razred LGW tudi tam, kjer je razred RPL enak nič.



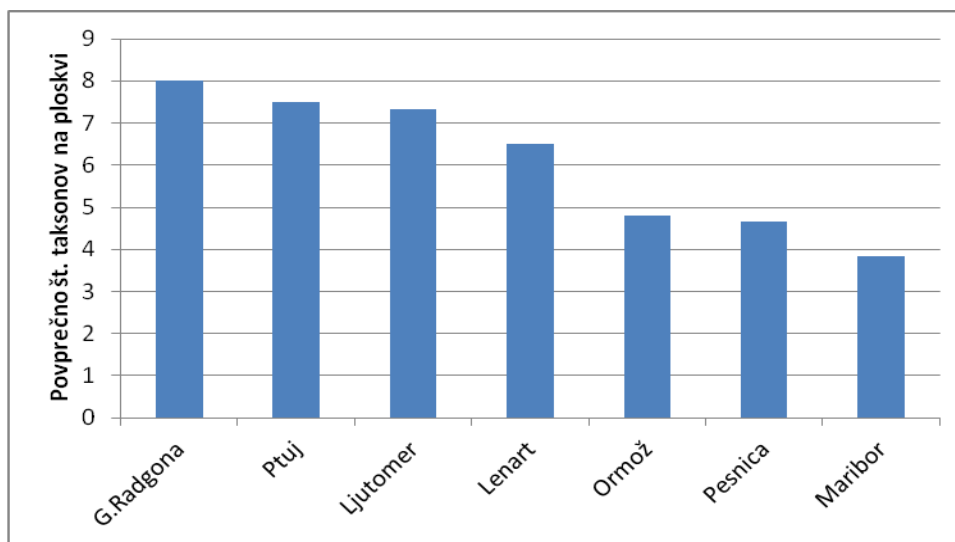
Slika 8: Primerjava razredov čistosti zraka po metodi VDI (LGW-razred) in po Batiču in sod. (RPL-razred) – drevesna skupina bukev.



Slika 9: Primerjava razredov čistosti zraka po metodi VDI (LGW-razred) in po Batiču in sod. (RPL-razred) – drevesna skupina hrasti.

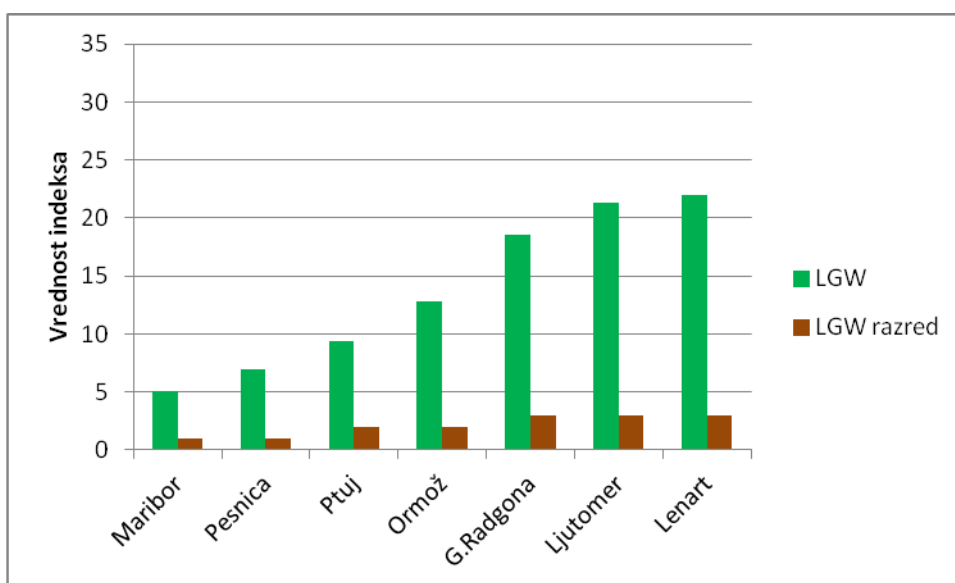
4.6 KAKOVOST ZRAKA V UPRAVNIH ENOTAH

Za primerjavo s poročilom ARSO o emisijah v Sloveniji (Planinšek 2010) smo združili ploskve na območju posameznih upravnih enot (UE). Največje povprečno število taksonov na popisno ploskev smo zabeležili v UE Gornja Radgona, Ptuj in Ljutomer, najmanjše pa v UE Maribor (Slika 10).

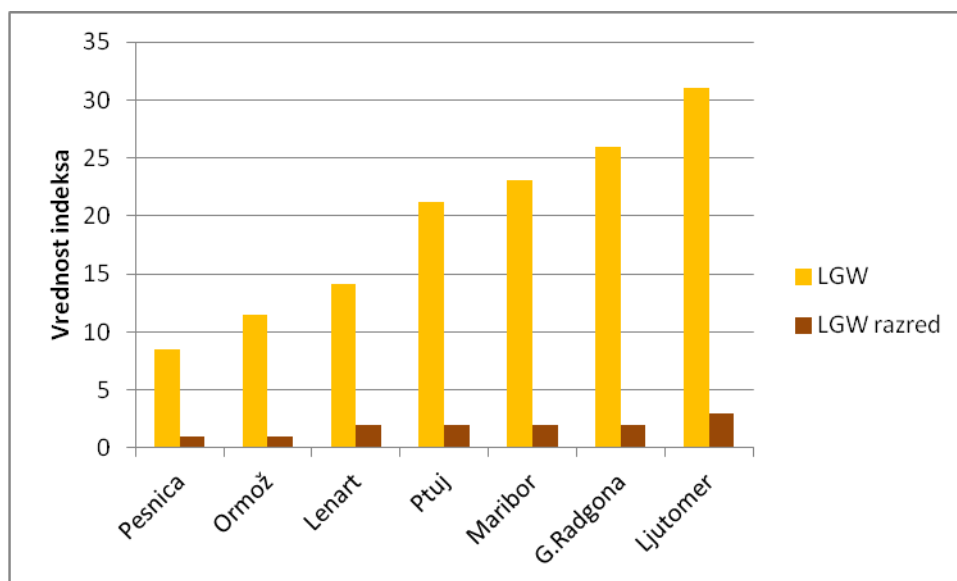


Slika 10: Povprečno zabeleženo število taksonov na popisno ploskev v posamezni upravni enoti.

Najboljši indeks LGW je v UE Ljutomer in G. Radgona (Slika 11 in 12). UE Maribor in Ptuj imata presenetljivo dobre rezultate LGW na hrastih (Slika 12), slabe vrednosti na bukvah (Slika 11) pa se ujemajo z velikimi emisijami na teh območjih.



Slika 11: Povprečni LGW-indeks popisnih ploskev v upravni enoti – drevesna skupina bukev.



Slika 12: Povprečni LGW-indeks popisnih ploskev v upravni enoti – drevesna skupina hrasti.

Relativna pokrovnost posameznih rastnih tipov v najbolj onesnaženih UE Maribor in Ptuj je izredno majhna (Preglednica 6). Najboljša je v UE Ormož in Pesnica. Za UE Lenart in G. Radgona ni podatkov, ker na popisanih ploskvah ni bilo dovolj primernih dreves.

Preglednica 6: Povprečna relativna pokrovnost lišajev (RPL) v upravni enoti – drevesna skupina bukev. S – skorjasti lišaji, L – listasti lišaji.

UE	S	L
G. Radgona	ni podatkov	
Lenart	ni podatkov	
Ljutomer	0,60	0,32
Maribor	0,00	0,01
Ormož	3,26	0,14
Pesnica	1,48	0,02
Ptuj	0,60	0,00

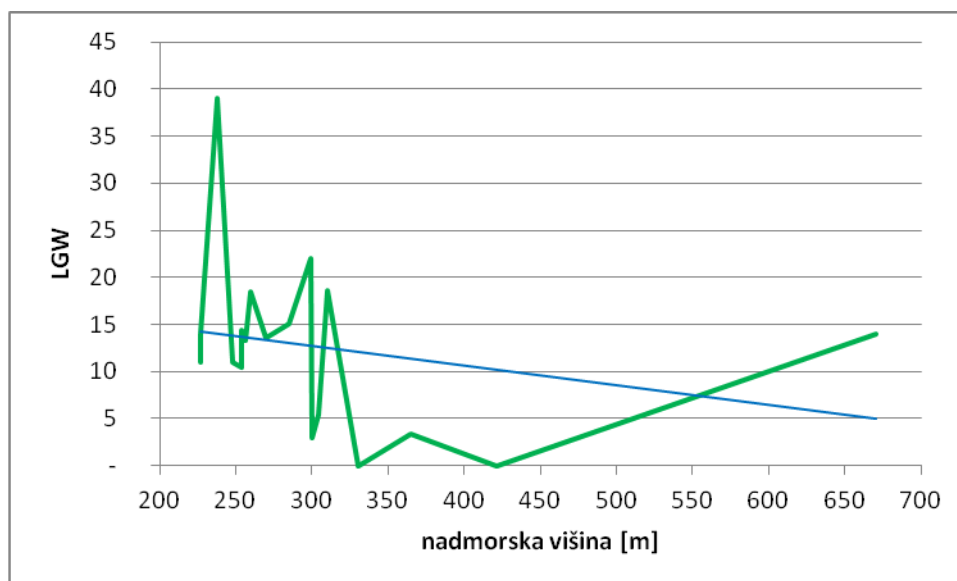
Iz Preglednice 7 razberemo različne ekološke indekse, s katerimi lahko sklepamo na stanje v okolju. Razlaga simbolov in vrednosti je v Preglednici 3. Najbolj kisl podlaga (R) je v UE Lenart in Ormož, najmanj pa v bolj onesnaženih Ptuj in Maribor. Največ nitrofilnih lišajev (N) raste v UE Ljutomer, pa tudi v UE Ptuj, Maribor in Pesnica. Najmanj nitrofilna je G. Radgona, ki izstopa tudi po senčnosti popisanih ploskev (L) in manjši kontinentalnosti (K). Ker gre za relativno majhno območje raziskave, vplivu kontinentalnosti ne pripisujemo velikega pomena, možna so lokalna odstopanja zaradi mikrolokacijskih razmer.

Preglednica 7: Povprečne vrednosti različnih ekoloških indeksov po Ellenbergu in sod. (1992) v upravni enoti. Razlaga simbolov in vrednosti je v Preglednici 3.

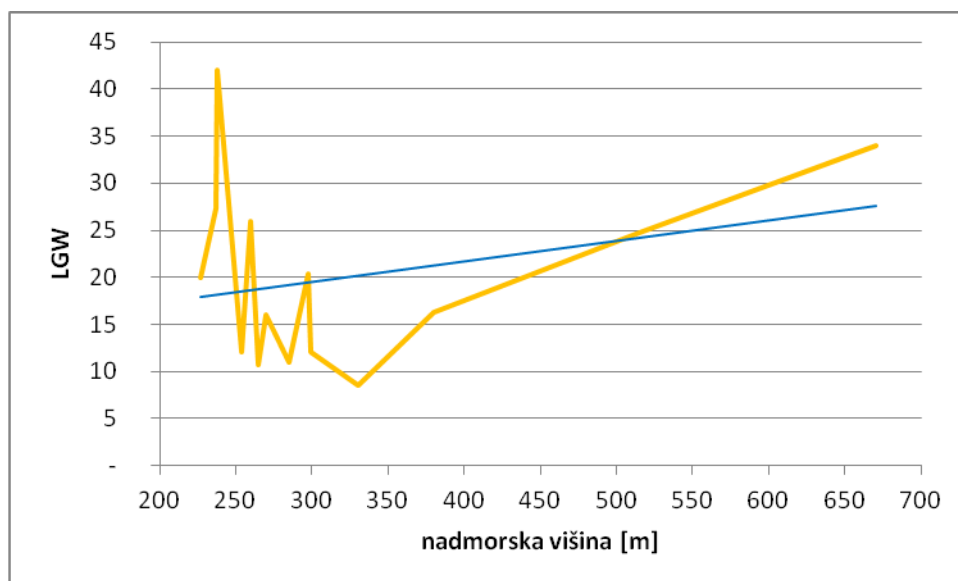
UE	L	T	K	F	R	N	To
G. Radgona	3,8	5,3	3,7	4,0	4,8	3,0	5,8
Lenart	5,5	5,0	5,5	3,7	4,4	3,6	6,5
Ljutomer	5,9	4,6	4,8	3,2	5,0	4,0	6,3
Maribor	5,4	5,4	4,8	3,4	5,1	3,7	6,0
Ormož	4,3	5,3	4,2	3,9	4,7	3,4	6,1
Pesnica	4,9	5,8	3,6	3,8	4,9	3,7	6,2
Ptuj	5,3	5,2	4,4	3,9	5,4	3,8	5,2

4.7 KAKOVOST ZRAKA GLEDE NA NADMORSKO VIŠINO

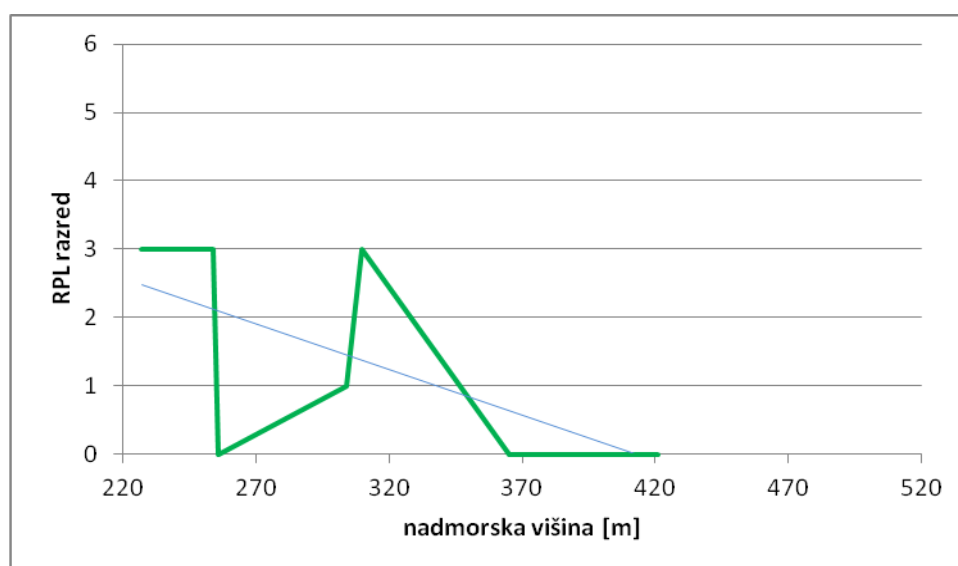
Popisane ploskev smo razvrstili po nadmorski višini, da preverimo hipotezo o čistejšem zraku v višjih legah. Pričakovane rezultate daje le LGW na hrastih (Slika 14), pri katerem opazimo naraščanje z večanjem nadmorske višine. Pri obeh metodah je rezultat na hrastih bližje pričakovanemu, rezultat na bukvah (Slika 13 in 15) pa ravno nasproten. Večina popisnih ploskev je v nižjih legah, za večje nadmorske višine so podatki maloštevilni.



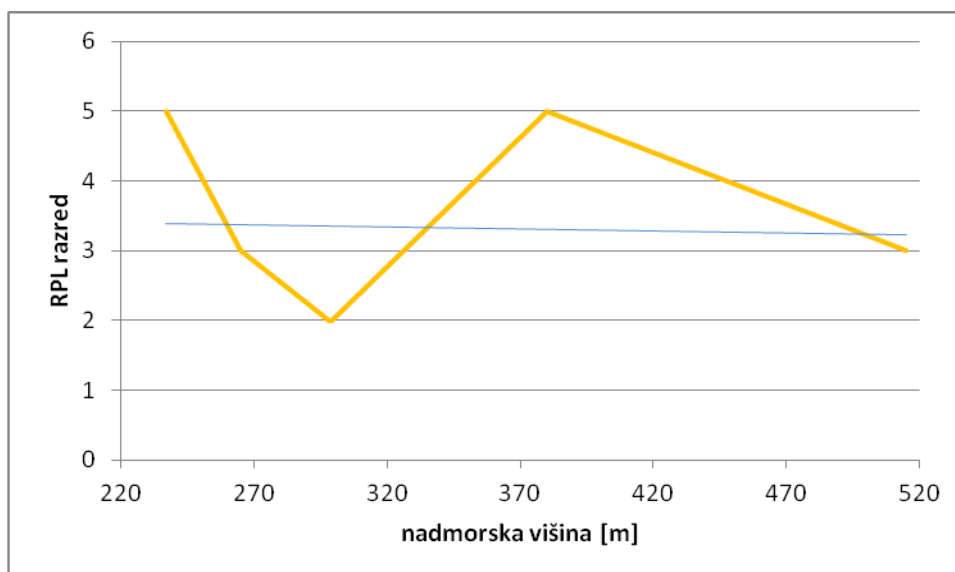
Slika 13: Odvisnost LGW-indeksa od nadmorske višine – drevesna skupina bukev. Zelena krivulja povezuje vrednosti na ploskvah, modra črta pa prikazuje trend glede na nadmorsko višino.



Slika 14: Odvisnost LGW-indeksa od nadmorske višine – drevesna skupina hrasti. Rumena krivulja povezuje vrednosti na ploskvah, modra črta pa prikazuje trend glede na nadmorsko višino.



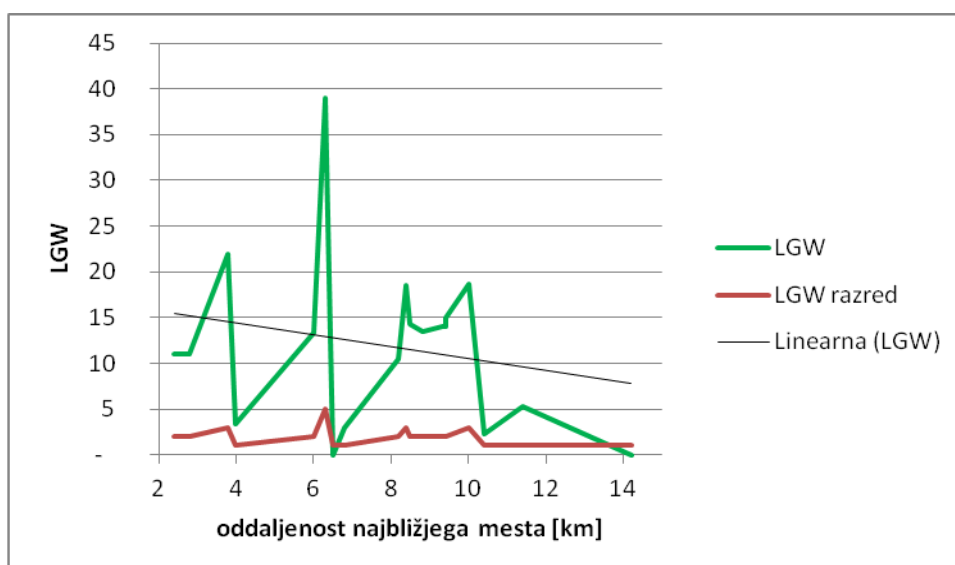
Slika 15: Odvisnost RPL-razreda čistosti zraka od nadmorske višine – drevesna skupina bukev. Zelena krivulja povezuje vrednosti na ploskvah, modra črta pa prikazuje trend glede na nadmorsko višino.



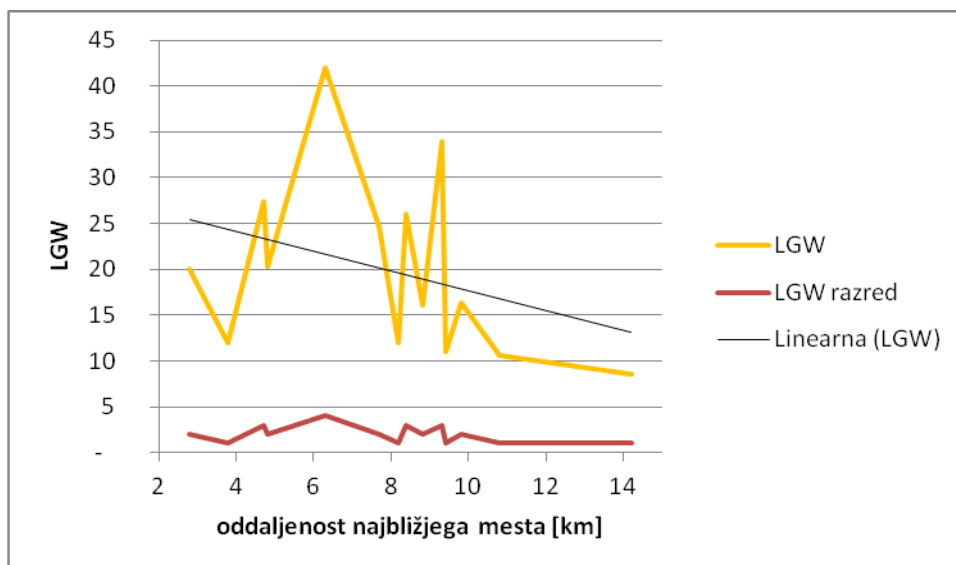
Slika 16: Odvisnost RPL-razreda čistosti zraka od nadmorske višine – drevesna skupina hrasti. Rumena krivulja povezuje vrednosti na ploskvah, modra črta pa prikazuje trend glede na nadmorsko višino.

4.8 KAKOVOST ZRAKA GLEDE NA ODDALJENOST OD MESTA

Izmerili smo zračno razdaljo med popisno ploskvijo in središčem najbližjega mesta: Gornja Radgona, Lenart, Ljutomer, Maribor, Ormož, Ptuj. Ploskve so od mesta oddaljene približno od 2 do 14 km. Na obeh drevesnih skupinah se po VDI metodi kakovost zraka slabša z oddaljenostjo od mesta (Slika 17 in 18). Število vrst in njihova frekvenca sta večji v bližini mest. Vrednosti na hrastih so v povprečju boljše od bukev.

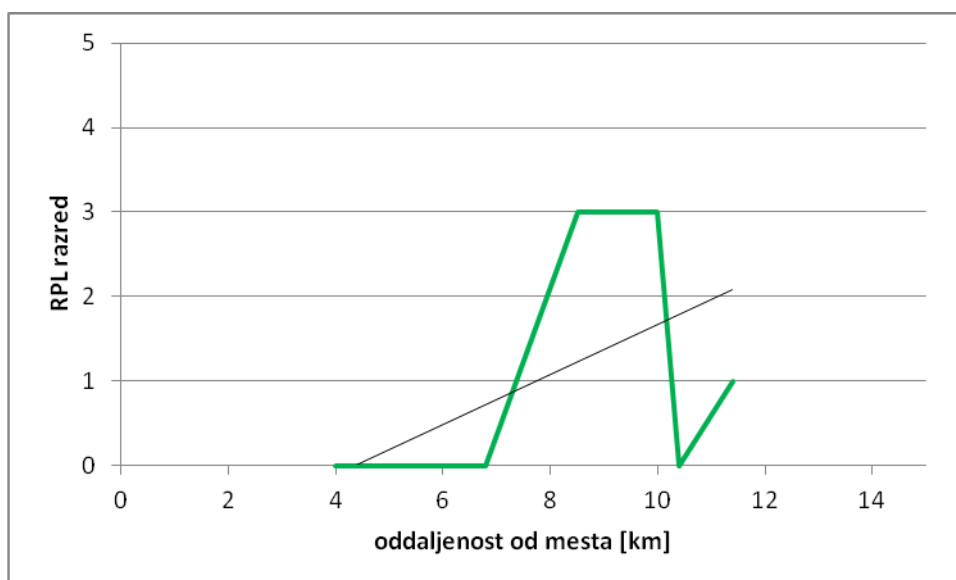


Slika 17: Odvisnost LGW-indeksa in LGW-razreda od bližine mesta – drevesna skupina bukev. Ravna črta prikazuje trend indeksa.

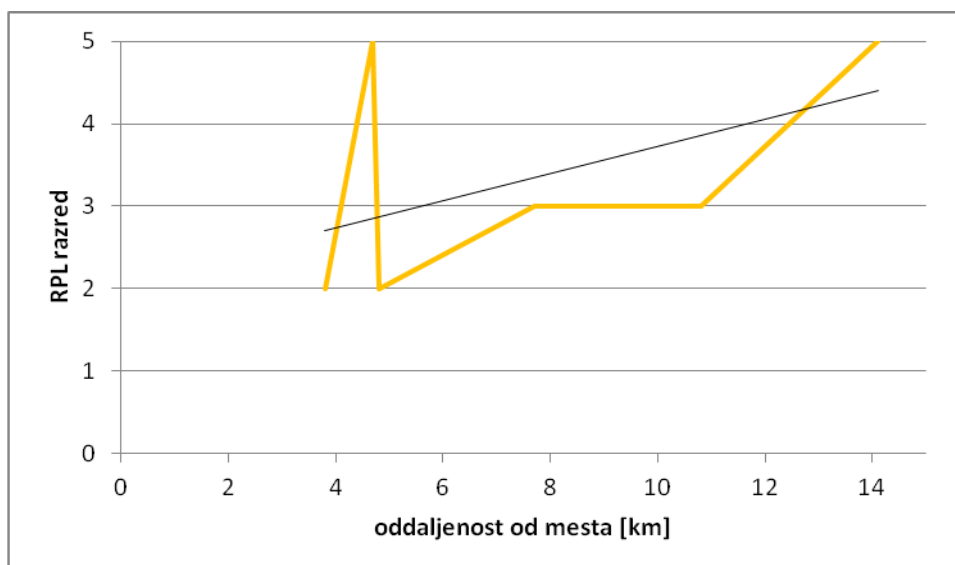


Slika 18: Odvisnost LGW-indeksa in LGW-razreda od bližine mesta – drevesna skupina hrasti. Ravna črta prikazuje trend indeksa.

Rezultati po metodi RPL potrjujejo hipotezo, da se z oddaljenostjo od mesta kakovost zraka izboljšuje (Slika 19 in 20). Razdalje do mesta so od 2 do 12 km. Tudi v tem primeru so vrednosti na hrastih večje kot na bukvah.



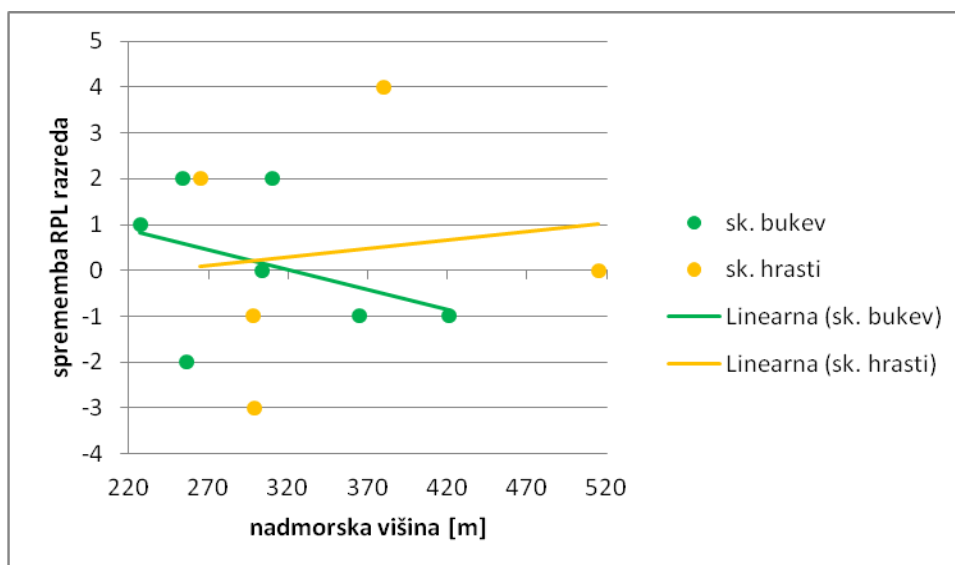
Slika 19: Odvisnost RPL-razreda čistosti zraka od bližine mesta – drevesna skupina bukev. Ravna trendna črta prikazuje boljšo čistost zraka na bolj oddaljenih ploskvah.



Slika 20: Odvisnost RPL-razreda čistosti zraka od bližine mesta – drevesna skupina hrasti. Ravna trendna črta prikazuje boljšo čistost zraka na bolj oddaljenih ploskvah.

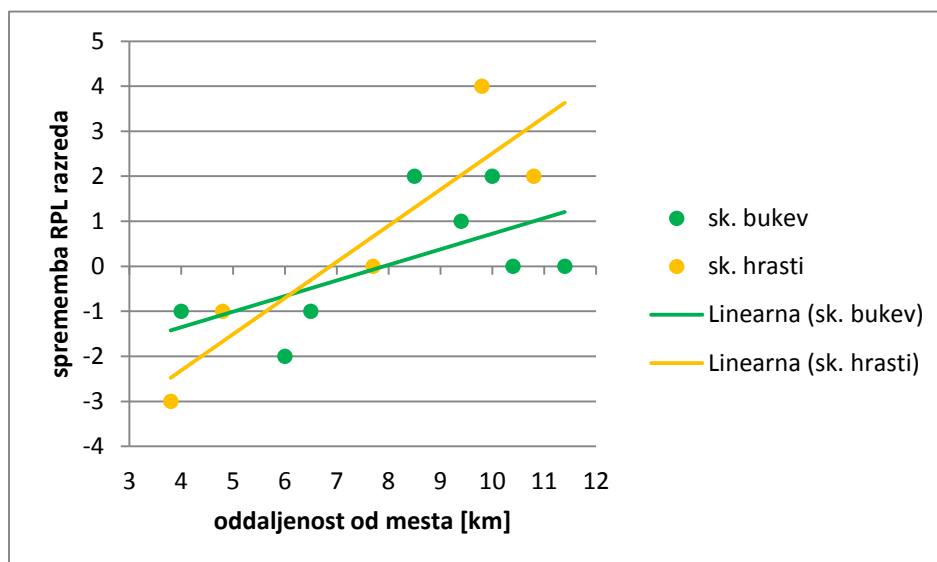
4.9 PRIMERJAVA S POPISOM LETA 2007

Naše podatke o RPL smo primerjali s podatki iz leta 2007 (Batič in sod. 2011). Na nekaterih ploskvah se je stanje poslabšalo, na drugih izboljšalo ali pa je ostalo nespremenjeno. Ploskve smo primerjali po nadmorski višini (Slika 21) in bližini mesta (Slika 22). Izboljšala se je relativna pokrovnost lišajev na hrastih v višjih legah, v nižjih pa se je v glavnem poslabšala. Na bukvah je trend nasproten, stanje se je izboljšalo v nižjih legah.



Slika 21: Sprememba razreda RPL glede na nadmorsko višino med letoma 2007 in 2010. Ravni trendni črti kažeta izboljšanje (rumena – drevesna skupna hrasti) in poslabšanje (zeleno – drevesna skupina bukev) z nadmorsko višino.

Na ploskvah, ki so od mesta bolj oddaljene, se je relativna pokrovnost lišajev izboljšala, na bližnjih pa poslabšala (Slika 22). Na hrastih so razlike večje kot na bukvah.



Slika 22: Sprememba razreda RPL glede na bližino mesta med letoma 2007 in 2010.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 POPISANE LOKACIJE IN VRSTE

Ugotovili smo, da je glede na teoretično predvideno mrežo popisnih ploskev njihovo dejansko število bistveno manjše zaradi fragmentiranosti gozda. Fragmentiranost je morda eden izmed vzrokov za dokaj slabo stanje lišajev, saj ima po poročanju Jüriado in sod. (2009) negativen vpliv na vrste, ki običajno uspevajo v globokem gozdu. Takšni lišaji imajo dolge generacijske čase ter slabo disperzijsko in kolonizacijsko sposobnost.

Razen splošno razširjenih vrst, kot so *Phlyctis argena*, *Graphis scripta*, *Lepraria lobificans* in *Melanohalea exasperatula*, je med pogosto zabeleženimi tudi nitrofilna vrsta *Phaeophyscia orbicularis* in vrste iz rodu *Physcia*, katerega predstavniki veljajo za nitrofilne (van Herk 1999 in 2001, Poličnik 2008) (Preglednica 4).

5.2 EKOLOŠKI INDEKSI

Indeksi po Ellenbergu (Preglednica 5) kažejo, da je v povprečju skorja proučevanih dreves zmerno bogata z minerali, ponekod morda že bogata ali zmerno impregnirana s prahom, bogatim z dušikom. Toksitolerantnost na celotnem območju Slovenskih Goric je srednja do zmerno velika, kar je v skladu s pričakovanji.

Ugotovitve Veltruskijeve (2006), ki je izdelala lišajsko karto Maribora, se večinoma ujemajo z našimi indeksi. Nitrofilnost v samem mestu je večja od naših meritev, znaša med 4,7 in 6,1 in narašča proti središču mesta. Podobno velja za toksitolerantnost, ki v njenem primeru obsega vrednosti od 6,0 do 7,5.

Zanimiva je povezanost med indeksom To in N. V bližini mesta sta oba indeksa večja in z oddaljevanjem od mesta upadata (Slika 3). Korelacija med indeksoma se ujema z ugotovitvami van Herka (2001), ki je opazil, da nitrofilni lišaji nakazujejo tudi toksitoleranten značaj.

V našem primeru je bližje mestu podlaga bolj kisla (Slika 3), kar je v nasprotju z navedbami obeh omenjenih raziskav; z naraščajočo kislostjo bi morala nitrofilnost upadati. Novejša dognanja (Frahm in sod. 2009a, 2009b) potrjujejo naše ugotovitve, saj promet poveča vrednost pH le drevesom s šibko pufrsko sposobnostjo skorje, kot je na primer hrast, ostalim pa ne ali zelo malo. Nitrofilni lišaji niso hkrati bazofilni, ampak halo- in

kserofilni. Amonijak in dušikovi oksidi iz avtomobilskih izpuhov se v suhem vremenu povežejo v amonijev nitrat, ki v obliki zelo finega prahu (velikost delcev 1 μm) povzroča zakisanje in evtrofikacijo. V vlažnem vremenu se dušikovi oksidi v obliki dušikovih kislin odlagajo kot mokra depozicija, njihov osmotski vpliv pa so sposobni tolerirati lišaji z višjimi osmotskimi vrednostmi, na primer vrsti *Phaeophyscia orbicularis* in *Physcia adscendens* (Frahm in Erler 2009).

5.3 METODA VDI – INDEKS LGW

Indeks LGW je izračunan za vse ploskve, pri nekaterih tudi za obe drevesni skupini (Sliki 4 in 5). Izstopa KPP 366, na kateri je indeks najboljši, najslabši pa na 489 in 510. Ponekod je indeks boljši na bukvah, drugod na hrastih, vendar na hrastih ni nikoli enak nič. Možne so napake, ker pri terenskem delu nismo izločili lišajev premera manj kot 3 mm, ki smo jih beležili za potrebe metode RPL.

5.4 METODA RPL IN RAZREDI ČISTOSTI ZRAKA

Po tej metodi nismo ovrednotili vseh ploskev, ker v nekaterih primerih ni bilo na razpolago dovolj primernih dreves iste skupine. Od devetih ploskev, kjer smo popisali sk. bukve, jih je kar pet v najslabšem razredu 0 (Slika 6), najboljše lokacije pa dosežejo razred 3. Razpon na hrastih je med 2 in 5 (Slika 7).

5.5 PRIMERJAVA METOD

Obe metodi kažeta primerljive odnose med popisnimi ploskvami (Slika 8 in 9). Metoda VDI ima očitno nižji spodnji ocenjevalni prag, saj lahko izračunamo vrednosti tudi tam, kjer jih z RPL ne zaznamo. Vzrok tiči v metodi, saj na izračun širine razreda vpliva sama porazdelitev vrednosti pri obravnavani raziskavi. Metoda RPL ima fiksno skalo, vrednosti so porazdeljene med 0 in 100 %, glede na RPL rastnih tipov pa so določeni razredi kvalitete zraka. Vrednosti LGW lahko izračunamo tudi pri popisu enega samega drevesa na ploskvi, vendar z večanjem vzorca dobimo zanesljivejše rezultate. Metoda RPL zahteva najmanj 3 drevesa iste drevesne skupine. Metoda RPL je pokazala večjo ločljivost, kar pomeni, da so razlike med posameznimi ploskvami večje kot pri LGW.

5.6 KAKOVOST ZRAKA V UPRAVNIH ENOTAH

Glede na to, da največ emisij prispevata UE Ptuj in Maribor, smo tam zabeležili najmanjšo povprečno RPL na bukvi (Preglednica 4), tudi indeks LGW na bukvi (Slika 11) je v obeh UE med najslabšimi. LGW na hrastih (Slika 12) kaže nekoliko drugačno podobo, saj Ptuj in Maribor padeta v boljšo polovico rezultatov. Možni razlog je vpliv razmer na sami lokaciji (npr. dobro presvetljena popisna ploskev na robu gozda). V obeh primerih sta med slabšimi UE Pesnica in Ormož, med bolj čistimi območji pa sta UE Ljutomer in Gornja Radgona. Gre za manjši mesti z neizrazito industrijo in prometom, popisane ploskve pa so od bližnjih mest odmaknjene v zahodni smeri, tako da prevladujoči vetrovi v tem delu Slovenije ne prinašajo onesnaženega zraka (Bertalanč 2005 in 2006, Meteorološki in ekološki... 2012).

Povprečno število taksonov na posamezno ploskev je v UE Ptuj med boljšimi (Slika 10), verjetno po zaslugi KPP 7042, ki leži na robu gozdiča in je dobro osvetljena. Služila nam je tudi kot vzorčna ploskev, zato je zelo podrobno raziskana. Upoštevati moramo tudi dejstvo, da nismo popisali vseh ploskev v vseh UE, ampak samo tiste, ki ležijo na območju Slovenskih Goric.

5.7 KAKOVOST ZRAKA GLEDE NA NADMORSKO VIŠINO

Ena izmed delovnih hipotez je bila, da bodo indeksi pokazali čistejši zrak na višjih nadmorskih višinah, kar je nedvoumno razvidno le z enega izmed štirih grafikonov (Slika 14) – LGW na hrastih. Oba indeksa na drevesni skupini bukve prikazujeta prav nasprotno ugotovitve, kar je mogoče razložiti s tem, da tri najvišje ležeče popisne ploskve (KPP 488, 489, 490) ležijo v neposredni bližini Maribora in ob zelo prometni cesti Maribor – Ruše – Dravograd. Omenjena povezava je v letu 1997 dnevno prevozilo povprečno okrog 18.000 vozil (Fridl 1998: 233). Večina od vseh popisnih ploskev leži v nižjih legah, zato je možno, da maloštevilni podatki z večjih nadmorskih višin ne prikazujejo dejanskega stanja.

5.8 KAKOVOST ZRAKA GLEDE NA ODDALJENOST OD MESTA

Mesta so v pokrajini točkovni viri onesnaženja zraka, predvsem zaradi industrije in prometa, zato v njihovi bližini pričakujemo slabšo kakovost zraka. Uporabljeni metodi nam kažeta nasprotujoče si rezultate; vrednosti RPL hipotezo potrjujejo (Slika 19 in 20),

vrednosti LGW pa ji nasprotujejo (Slika 17 in 18). Iz tega sklepamo, da se z oddaljenostjo večja pokrovnost lišajev, vrstna pestrost pa se manjša.

5.9 PRIMERJAVA S POPISOM LETA 2007

Glede na trende meritev zračnih onesnažil opisane v poglavju 3.1 smo pričakovali izboljšanje stanja epifitskih lišajev. Batič in Kastelec (2009), ki sta proučila spremembe med popisom leta 2000 in 2007, sta ugotovila, da so razmere v splošnem slabe in da se je stanje na večini ploskev poslabšalo.

Primerjava pričujoče raziskave in popisa 2007 kaže nekoliko spodbudnejše rezultate. Od 13 primerjanih ploskev se je stanje poslabšalo na 5 ploskvah, na prav tolikih se je stanje izboljšalo, 3 pa so ostale nespremenjene. Zanimiva so opažanja glede na nadmorsko višino (Slika 21) in oddaljenost od mesta (Slika 22). Na ploskvah, ki so bolj oddaljene od mesta, se je stanje večinoma izboljšalo, na bližnjih pa poslabšalo. V bližini mest je koncentracija onesnažil očitno še vedno tolikšna, da povzroča propadanje lišajske vegetacije, vendar se onesnažila ne prenašajo več v tolikšni meri na večje razdalje, kar omogoča okrevanje na bolj oddaljenih območjih.

Primerjava nadmorskih višin v drevesni skupini bukev (Slika 21) kaže negativen trend v višjih legah. Kot že omenjeno je morda razlog ta, da se nekaj najvišje ležečih točk nahaja v bližini Maribora. Pričakovane spremembe kaže drevesna skupina hrastov, pri katerih neugodne ploskve niso vključene. Iz tega lahko sklepamo, da ima večja nadmorska višina vseeno ugoden vpliv na lišajsko vegetacijo, kar je verjetno posledica dejstva, da so večja naselja v dolini.

6 POVZETEK

Onesnaževanje okolja je v zadnjih desetletjih tema številnih razprav strokovnih in političnih krogov. Onesnaženo ozračje je potencialno najnevarnejši kratko- in srednjeročni problem za človekovo zdravje. Njegovi razdiralni učinki uničujejo človeško zdravje, zgradbe in naravo. S tem vplivajo na kvaliteto življenja ter ekonomske vidike zdravstva, gradbeništva in kmetijske pridelave.

Najslabši zrak je v velikih mestih, zaradi koncentracije industrije, ogrevalnih obratov in prometa. Izpostavljenost onesnaževalcem se od mesta do mesta razlikuje glede na kapaciteto, geografske in vremenske razmere, veter pa jih lahko prenaša tudi na velike razdalje.

Raziskave zračnega onesnaženja izvajamo s pomočjo inštrumentov za kemijske in fizikalne meritve ali s pomočjo bioindikatorjev, med katerimi so najprimernejši epifitski lišaji. Proučevali smo lišaje v Slovenskih Goricah, ki so obremenjene z intenzivnim kmetijstvom, prometom in daljinskim vnosom zračnih onesnažil. Predvidevali smo prisotnost nitrofilnih in toksitolerantnih vrst ter slabše stanje v bližini mest in na manjših nadmorskih višinah.

Lišaje smo popisali na popisnih ploskvah Gozdarskega inštituta Slovenije, ki ležijo na območju Slovenskih Goric. Na vsaki ploskvi smo izbrali tri najdebelejša drevesa, po možnosti iz iste drevesne skupine. Na najbolj poraščeno stran debla smo 1 m nad tlemi namestili popisno mrežico 20 x 50 cm, ki je razdeljena na 10 polj, vsako polje pa na 25 kvadratkov. Za potrebe metode RPL smo zabeležili pokrovnost treh rastnih tipov lišajev v mrežici, za metodo VDI (indeks LGW) pa vrste in njihovo frekvenco. Težje določljive vrste smo analizirali v laboratoriju s tankoplastno kromatografijo.

Pri pregledu najpogostejših vrst opazimo nekaj nitrofilnih pokazateljev, npr. vrsto *Phaeophyscia orbicularis* in rod *Physcia*. V povprečju je skorja proučevanih dreves zmerno bogata do bogata z minerali, kar nam pove indeks nitrofilnosti po Ellenbergu. Toksitolerantnost na celotnem območju Slovenskih Goric je srednja do zmerno velika, kar je v skladu s pričakovanji. Oba indeksa v bližini mest naraščata, indeks acidofilnosti, ki prikazuje kislost podlage, pa pada.

Obe uporabljeni metodi kažeta primerljive odnose med popisnimi ploskvami. Metoda VDI ima nižji spodnji ocenjevalni prag, torej lahko izračunamo vrednosti tudi tam, kjer jih z

RPL ne zaznamo. Metoda RPL je pokazala večjo ločljivost, kar pomeni, da so razlike med posameznimi ploskvami večje.

Upravni enoti, ki prispevata največ emisij sta Ptuj in Maribor, zato smo tam zabeležili tudi najmanjšo RPL na bukvi, tudi indeks LGW na bukvi, je v obeh UE med najslabšimi. Med slabšimi sta tudi UE Pesnica in Ormož, med bolj čistimi območji pa sta UE Ljutomer in Gornja Radgona. Gre za manjši mesti, katerih popisane ploskve so od njih odmaknjene v zahodni smeri, tako da vetrovi odnašajo onesnažen zrak v nasprotno smer. LGW na hrastih kaže nekoliko drugačno podobo, saj Ptuj in Maribor padeta v boljšo polovico rezultatov. Tudi povprečno število taksonov na posamezno ploskev je v UE Ptuj med boljšimi, verjetno po zaslugi KPP 7042, ki leži na robu gozdčiča in je dobro osvetljena.

LGW na hrastih edini potrjuje hipotezo, da je na večji nadmorski višini zrak bolj čist, indeksa (LGW in RPL) na drevesni skupini bukve pa kažeta nasprotno trende. Možni razlog je ta, da so tri najvišje ležeče popisne ploskve v bližini Maribora in ob zelo prometni cesti Maribor – Ruše – Dravograd. Možno je tudi, da maloštevilni podatki z večjih nadmorskih višin ne prikazujejo dejanskega stanja.

Uporabljeni metodi nam kažeta nasprotujoče si rezultate glede na oddaljenost od mesta; RPL hipotezo potrjuje, LGW pa ji nasprotuje. Iz tega sklepamo, da se z oddaljenostjo večja pokrovnost lišajev, vrstna pestrost pa se manjša.

Glede na trende zmanjšanja emisij in glede na meritev zračnih onesnažil smo pričakovali izboljšanje stanja epifitskih lišajev. Primerjava pričujoče raziskave in popisa 2007 kaže, da se je od 13 primerjanih ploskev stanje poslabšalo na 5 ploskvah, na prav tolikih se je stanje izboljšalo, 3 pa so ostale nespremenjene. Na ploskvah, ki so bolj oddaljene od mesta, se je stanje večinoma izboljšalo, na bližnjih pa poslabšalo. V bližini mest koncentracija onesnažil še vedno povzroča propadanje lišajske vegetacije.

Primerjava nadmorskih višin v drevesni skupini bukev kaže negativen časovni trend v višjih legah. Kot že omenjeno je morda razlog ta, da se nekaj najvišje ležečih točk nahaja v bližini Maribora in ob prometni cesti. Pričakovane spremembe kaže drevesna skupina hrastov, pri katerih neugodne ploskve niso vključene. Sklepamo, da ima večja nadmorska višina vseeno ugoden vpliv na lišajsko vegetacijo, kar je verjetno posledica dejstva, da so večja naselja v dolini.

7 VIRI

- Ahmadjian V. 1993. The lichen symbiosis. New York, John Wiley & Sons, Inc: 250 str.
ARSO - Zrak. Ljubljana, Agencija RS za okolje.
<http://www.arso.gov.si/zrak/> (29.3.2012)
- Bartok K. 1999. Pesticide usage and epiphytic lichen diversity in Romanian orchards. *The lichenologist* 31, 1: 21-25
- Batič F. 1984. Ugotavljanje onesnaženosti zraka s pomočjo epifitskih lišajev in lišajska karta Slovenije kot rezultat dela. V: Raziskovanje onesnaženosti zraka v Sloveniji 2. Dosedanje delo in navodila za naprej. Ljubljana, Prirodoslovno društvo Slovenije: 20-26
- Batič F. 2002. Bioindication of Sulphur Dioxide Pollution with Lichens. V: *Protocols in lichenology: culturing, biochemistry, ecophysiology and use in biomonitoring (Springer lab manuals)*. V: Kranner I., Beckett R., Varma A., eds. Berlin, Springer: 483-503
- Batič F. in Kastelec D. 2009. Spremljanje onesnaženosti zraka z uporabo epifitskih lišajev. Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani.
http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=344 (14.1.2012)
- Batič F., Kastelec D., Turk B. 2009. Poškodovanost listov indikatorskih rastlin zaradi onesnaženosti. Ljubljana, Agencija RS za okolje: 9 str.
http://kazalci.arso.gov.si/print?ind_id=327&lang_id=302 (13.3.2012)
- Batič F., Kastelec D., Skudnik M., Kovač M. 2011. Analiza stanja lišajev v popisu stanja gozdov v letu 2007. *Gozdarski vestnik* 69, 5–6
- Bertalanč R. 2005. Vetrovnost v Sloveniji leta 2004. *Ujma* 19: 42-50
http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2005/vetrovnost_2004.pdf (7.5.2012)
- Bertalanč R. 2006. Vetrovnost v Sloveniji leta 2005. *Ujma* 20: 31-39
<http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2006/bertalanic.pdf> (7.5.2012)
- Bizjak M. 2009. Kemijski vidiki onesnaženosti ozračja. 1. izdaja. Ljubljana, Zdravstvena fakulteta: 104 str.
- Bolte T. 2008. Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2007. Ljubljana, Agencija RS za okolje: 116 str.
<http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/LETNO2007.pdf> (14.1.2012)
- Bolte T. 2011a. Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2010. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor Agencija RS za okolje: 191 str.
<http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/LETNO2010.pdf> (20.3.2012)

- Bolte T. 2011b. Ali so vzrok visokih koncentracij delcev PM₁₀ tudi ognjemeti? Ljubljana, Agencija RS za okolje: 1 str.
http://www.arso.gov.si/novice/datoteke/027566-Svet%2018_Ognjemeti.pdf
(14.1.2012)
- Brown D. H. in Brown R. 1991. Mineral cycling and lichens: the physiological basis. *The lichenologist* 23, 3: 293-307
- Colls J. 2002. Air pollution. Second edition. London, Spon press: 560 str.
- Česen M. 2009. Izpusti onesnaževal zraka iz prometa. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje. (24.12.2009)
http://kazalci.arso.gov.si/print?ind_id=252&lang_id=302 (14.1.2012)
- Ellenberg H., Weber E. H., Düll R., Wirth V., Werner W., Paulissen D. 1992. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 2. Auflage. Göttingen, Verlag Erich Goltze: 258 str.
- Frahm J.-P. in Erler D. 2009. Orientierende Untersuchungen zur Wirkung der Staubimprägnierung von Borken auf epiphytische Flechten. *Archive for lichenology*, vol. 4: 7 str.
- Frahm J.-P., Thönnies D., Hensel S. 2009a. Ist der Anstieg nitrophiler Flechten an Bäumen auf eine Erhöhung des Borken-pHs zurückzuführen? *Archive for lichenology*, vol. 1: 10 str.
- Frahm J.-P., Janßen A.-M., Schumacher J., Thönnies D., Hensel S., Heidelberg B., Erler D. 2009b. Das nitrophytenproblem bei epiphytischen Flechten – eine Synthese. *Archive for lichenology*, vol. 5: 8 str.
http://www.fschumm.de/Archive/Vol05_Frahm_et_al_ArchiveLichenology2009.pdf
(23.5.2012)
- Franzen-Reuter I. in Frahm J. 2007. Auswirkungen experimenteller Stickstoffgaben auf die Epiphytenflora in Dauerbeobachtungsflächen (Rheinland-Pfalz, Deutschland). *Herzogia* 20: 61-75
- Fridl J., Kladnik D., Orožen Adamič M., Perko D. 1998. Geografski atlas Slovenije: država v prostoru in času. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 360 str.
- Honegger R. 1998. The lichen symbiosis – what is so spectacular about it? *The lichenologist* 30, 3: 193-212
- Jeran Z., Byrne A. R., Batič F. 1995. Transplanted epiphytic lichens as biomonitors of air-contamination by radionuclides around the Žirovski vrh uranium mine, Slovenia. *The lichenologist* 27, 5: 375-385
- Jüriado I., Liira J., Paal J. 2009. Diversity of epiphytic lichens in boreo-nemoral forests on the North-Estonian limestone escarpment: the effect of tree level factors and local environmental conditions. *The lichenologist* 41, 1: 81-96
- Kirschbaum U. 1997. Flechten erkennen – Luftgüte bestimmen. 2. Auflage. Stuttgart, Ulmer: 128 str.

- Kovač M., Batič F., Japelj A., Kušar G., Polanšek B., Skudnik M., Krma P., Planinšek Š., Kastelec D. 2007. Popis poškodovanosti gozdov in gozdnih ekosistemov – priročnik za terensko snemanje podatkov. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 73 str.
- Meteorološki in ekološki podatki za Maribor. Spletna aplikacija z izračunom vetrne rože za poljubno obdobje.
http://193.95.233.105/econova1/Html/Veter_roza_Kp.aspx (7.5.2012)
- Ministrska konferenca »Okolje za Evropo«. 1994. Program okoljskih aktivnosti za Srednjo in Vzhodno Evropo: skrajšana verzija dokumenta, ki ga je potrdila Ministrska konferenca, Luccrn, Švica, 28-30 april, 1993. The Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe: 79 str.
- Modenesi J. 1993. An SEM study of injury symptoms in *Parmotrema reticulatum* treated with Paraquat or growing in sulphur dioxide-polluted air. *The lichenologist* 25, 4: 423-433
- Monitoring gozdov – raven 1: spremljanje stanja gozdov na 16 km x 16 km mreži. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije.
<http://www.gozdis.si/index.php?id=10> (29.3.2012)
- Nimis P. L. in Martellos S. 2008. *ITALIC* - The Information System on Italian Lichens. Version 4.0. University of Trieste, Dept. of Biology, IN4.0/1
<http://dbiodbs.univ.trieste.it/>
- Otorepec P. 2011. Izpostavljenost otrok onesnaženemu zraku zaradi delcev PM₁₀. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje.
http://kazalci.arso.gov.si/print?ind_id=378&lang_id=302 (14.1.2012)
- Piervittori R., Usai L., Alessio F., Maffei M. 1997. The effect of simulated acid rain on surface morphology and n-alkane composition of *Pseudevernia furfuracea*. *The lichenologist* 29, 2: 191-198
- Planinšek A. 2010. Ocena onesnaženosti zraka z žveplovim dioksidom, dušikovimi oksidi, delci PM₁₀, ogljikovim monoksidom, benzenom, težkimi kovinami (Pb, As, Cd, Ni) in policikličnimi aromatskimi ogljikovodiki (PAH) v Sloveniji za obdobje 2005 – 2009. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje: 40 str.
http://www.arso.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Ocena_kakovost%20zraka2010.pdf (13.1.2012)
- Plevnik A. 2008. Okolje in promet: Slovenija. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.
<http://nfp-si.eionet.europa.eu/publikacije/Datoteke/PrometInOkolje/OkoljeInPromet-min.pdf> (19.3.2012)
- Poelt J., Vezda A. 1977. Bestimmungsschlüssel europäischer Flechten. Vaduz, J. Cramer

- Poikolainen J. 2004. Moses, epiphytic lichens and tree bark as biomonitors for air pollutants – specifically for heavy metals in regional surveys. Oulu, Oulu university press: 64 str.
<http://herkules oulu fi/isbn9514274792/isbn9514274792.pdf> (23.3.2012)
- Poličnik H. 2008. Ugotavljanje onesnaženosti zraka s kartiranjem epifitskih lišajev in z analizo akumulacije težkih kovin. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 135 str.
- Radovanovič S., Bevc-Varl V., Žiberna I. 1996. Podravje, Maribor, Ptuj A-Ž. Priročnik za popotnika in poslovnega človeka. Murska Sobota, Pomurska založba: 302 str.
- Ruoss E. 1999. How agriculture affects lichen vegetation in Central Switzerland. *The lichenologist* 31, 1:63-73
- Schreiner E., Hafellner J. 1992. Sorediöse, corticole Krustenflechten im Ostalpenraum 1. Berlin, Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung: 291 str.
- Simončič A. 2011. Poraba sredstev za varstvo rastlin. Ljubljana, Agencija RS za okolje.
http://kazalci.arso.gov.si/print?ind_id=436&lang_id=302 (14.1.2012)
- Spremljanje kakovosti zunanjega zraka in padavin v Sloveniji. 2011. Ljubljana, Agencija RS za okolje: 2 str.
<http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/merilna%20mre%C5%BEa%20in%20programi/Merilna%20mreza.pdf> (29.3.2012)
- Šegula A. 2009. Onesnaženost zraka z žveplovim dioksidom. Ljubljana, Agencija RS za okolje.
http://kazalci.arso.gov.si/print?ind_id=216&lang_id=302 (16.3.2012)
- Vagts I., Kinder M., Müller J. 1994. The effect of agrochemicals on the growth of *Cladonia furcata*. *The lichenologist* 26, 1: 73-82
- van Herk C. M. 1999. Mapping of ammonia pollution with epiphytic lichens in the Netherlands. *The lichenologist* 31, 1: 9-20
- van Herk C. M. 2001. Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of changes in epiphytic lichen composition in space and time. *The lichenologist* 33, 5: 419-441
- Veltruski B. 2006. Lišajska karta Maribora. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 67 str.
- Verbič J. 2009. Izpusti amoniaka v kmetijstvu. Ljubljana, Agencija RS za okolje.
http://kazalci.arso.gov.si/print?ind_id=292&lang_id=302 (14.2.2012)
- Vidregar-Gorjup N. 2001. Biokemični in fiziološki odziv izbranih epifitskih lišajskih vrst na delovanje amoniaka in biocidov v sadjarstvu. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 137 str.
- VDI. 1995. Messen von Immissionswirkungen: Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten - Flechtenkartierung zur Ermittlung des

Luftgütewertes (LGW). VDI-Richtlinien 3799. Düsseldorf, Verein deutscher Ingenieure: 24 str.

Welch A. R., Gillman M. P., John E. A. 2006. Effect of nutrient on growth rate and competitive ability of three foliose lichen species. *The lichenologist* 38, 2: 177-186

Wirth V. 1995. Die Flechten Baden-Württembergs, Teil 1 und 2, 2. izdaja. Stuttgart, Ulmer.

Wirth V., Düll R. 2000. Farbatlas Flechten und Moose. Stuttgart, Eugen Ulmer: 320 str.

ZAHVALA

Zahvaljujem se:

- mentorju prof. dr. Francu Batiču za uvajanje v zanimivi svet lišajev in strokovno pomoč pri nastajanju pričujočega dela
- dr. Dušanu Jurcu za uporabo laboratorija na Gozdarskem inštitutu Slovenije
- dr. Marku Kovaču in Mitji Skudniku za praktične napotke pri terenskem delu
- profesorjem z Univerze Karla-Franca v Gradcu: dr. Helmutu Mayrhoferju, dr. Walterju Obermayerju in dr. Josefu Hafellnerju za pomoč pri določanju in laboratorijskem delu na njihovem inštitutu
- stricu Janku Magušu za prevoz in nastanitev v času izmenjave v avstrijskem Gradcu
- mojim staršem, bratu in sestri za pogovore, zglede in spodbude
- Jasmini, ker je v meni prebudila željo po rasti in novih ciljih

PRILOGE

Priloga A: Obrazec za popis relativne pokrovnosti rastišev tipov epifitskih lišajev

- Izbranih šest najdebelejših dreves, ki tvorijo prevladujoči sestoj na ploskvi

Drevo	1	2	3	4	5	6
ZSD						
DV						
Orientacija *						

- * orientacija ploskve na deblu na katero položimo sredino opazovalne mrežice (S, SV, V, JV, J, JZ, Z, SZ).

- Vpisati število manjših kvadratkov (0,5 - 25), katerih površino pokrivajo posamezne skupine lišajev, na polovico kvadrata natančno. Če je skupna površina lišajev znotraj belega kvadrata manjša od 0,5, vpišemo 0,1.

Drevo	1	2	3	4	5	6
SKORJASTI						

Drevo	1	2	3	4	5	6
LISTASTI						

Drevo	1	2	3	4	5	6
GRMIČASTI						

Drevo	1	2	3	4	5	6
Pokrovnost mahov (+,1,2)						

1: <1 % 2: 1-10 % 3: 10-20 %

Priloga B: Obrazec za popis lišajskih vrst

Form 2: List of species

Area investigated:					
Date:		Examiner:		Northing/easting:	
Date:		Examiner:		Tree number:	
Lichen species (fructicose lichens)	Frequency of occurrence	Lichen species (foliose lichens)	Frequency of occurrence	Lichen species (crustose lichens)	Frequency of occurrence
<i>Anaptychia ciliaris</i>		<i>Candelaria concolor</i>		<i>Buellia punctata</i>	
<i>Bryoria fuscescens</i>		<i>Cetraria chlorophylla</i>		<i>Candelariella efflorescens/reflexa/xanthostigma</i>	
<i>Evernia prunastri</i>		<i>Hypogymnia farinacea</i>		<i>Hypocenomyce scalaris</i>	
<i>Pseudevernia furfuracea</i>		<i>Hypogymnia physodes</i>			
<i>Ramalina farinacea</i>		<i>Hypogymnia tubulosa</i>		<i>Lecanora-carpinea</i> group (<i>L. carpinea</i> , <i>L. nemoralis</i>)	
<i>Ramalina fastigiata</i>		<i>Parmelia acetabulum</i>			
<i>Ramalina fraxinea</i>		<i>Parmelia caperata</i>		<i>Lecanora conizaeoides</i>	
<i>Ramalina pollinaria</i>		<i>Parmelia exasperatula</i>		<i>Lecanora expallens</i>	
<i>Usnea spec. (Usnea hirta, Usnea filipendula)</i>		<i>Parmelia flaventior</i>		<i>Lecanora-hagenii</i> group (<i>L. hagenii</i> , <i>L. persimilis</i> , <i>L. sambuci</i>)	
		<i>Parmelia glabra</i>		<i>Lecanora pulicaris</i>	
		<i>Parmelia glabratula</i>		<i>Lecanora saligna</i>	
				<i>Lecanora-subfusca</i> group (<i>L. allophana</i> , <i>L. argentata</i> , <i>L. chlorotera</i>)	
		<i>Parmelia pastillifera</i>		<i>Lecidella elaeochroma</i>	
		<i>Parmelia saxatilis</i>		<i>Lepraria</i> group (<i>L. incana</i> , <i>L. lobificans</i> , <i>L. rigidula</i> , <i>Lepriloma vouauxii</i>)	
		<i>Parmelia subargentifera</i>		<i>Ochrolechia turneri/microstictoides</i>	
		<i>Parmelia subrudecta</i>		<i>Pertusaria albescens</i>	
		<i>Parmelia sulcata</i>		<i>Pertusaria amara</i>	
		<i>Parmelia tiliacea</i>		<i>Pertusaria coccodes</i>	
		<i>Parmeliopsis ambigua</i>		<i>Pertusaria flavida</i>	
		<i>Phaeophyscia orbicularis</i>		<i>Pertusaria pertusa</i>	
		<i>Physcia adscendens/tenella</i>		<i>Phlyctis argena</i>	
		<i>Physcia aipolia/stellaris</i>			
		<i>Physconia distorta</i>			
		<i>Physconia enteroxantha</i>			
		<i>Physconia grisea</i>			
		<i>Physconia perisidiosa</i>			
		<i>Platismatia glauca</i>			
		<i>Xanthoria-candelaria</i> group (<i>X. candelaria</i> , <i>X. fallax</i> , <i>X. fulva</i> , <i>X. ulophyllodes</i>)		*)	
		<i>Xanthoria parietina</i>		<i>Lecanora coverage: conizaeoides</i>	
		<i>Xanthoria polycarpa</i>			
Sum of frequencies of occurrence		Sum of frequencies of occurrence		Sum of frequencies of occurrence	
Sum of frequencies of occurrence of all lichen species found on the tree:					

*) For the use of *Lecanora conizaeoides* see Section 3.1